



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISIS KEKUATAN SISA STRUKTUR BANGUNAN LEPAS
PANTAI TERPANCANG YANG TERKOROSI**

MADE AYU DELVINA DEVIANY

NRP. 04311440000140

Dosen Pembimbing:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

RESERVE STRENGTH ANALYSIS FOR THE EFFECT OF CORROSION ON FIXED OFFSHORE PLATFORM

MADE AYU DELVINA DEVIANY

NRP. 04311440000140

Supervisors:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN SISA STRUKTUR BANGUNAN LEPAS PANTAI TERPANCANG YANG TERKOROSI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut
Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

MADE AYU DELVINA DEVIANY

NRP. 04311440000140

Disetujui oleh:

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Agro Wisudawan S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 3)

6. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. (Penguji 4)

Surabaya, Juli 2018

ANALISIS KEKUATAN SISA STRUKTUR BANGUNAN LEPAS PANTAI TERPANCANG YANG TERKOROSI

Nama : Made Ayu Delvina Deviany
NRP : 04311440000140
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Agro Wisudawan, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam *assessment existing platform*, salah satu hal yang harus diperhitungkan adalah adanya korosi pada struktur tersebut. Salah satu korosi yang terjadi pada struktur lepas pantai adalah terjadinya degradasi pada dinding *member*. Korosi berpengaruh terhadap ketebalan dinding struktur, dimana ketebalan dinding struktur ini akan berpengaruh terhadap umur kelelahan struktur dan kekuatan sisa dari struktur tersebut. Pada analisa kali ini akan dibahas dampak korosi terhadap kekuatan sisa struktur. Korosi dimodelkan sebagai degradasi *wall thickness* dimana laju korosi yang terjadi adalah 0.45 mm/tahun. Analisis ini dilakukan dengan menghitung umur kelelahan struktur selama 3 tahun setelah dilakukan inspeksi pada struktur, serta permodelan jika struktur telah diberikan *doubling plate* setelah dilakukan inspeksi. Dari hasil analisis didapatkan bagaimana pengaruh korosi terhadap struktur secara beban dinamis, kekuatan sisa, dan umur kelelahan. Pada analisa ini didapatkan hasil nilai rasio kekuatan sisa terkecil adalah 2.962 pada struktur dengan arah pembebanan 0° dan kondisi struktur telah mengalami korosi 3 tahun setelah dilakukan inspeksi. Kemudian, dari analisa diketahui bahwa umur kelelahan paling kecil, yaitu 3.08 tahun terjadi pada kondisi 3 tahun setelah dilakukan inspeksi.

Kata kunci: Kekuatan Sisa, Umur Kelelahan, Korosi

RESERVE STRENGTH ANALYSIS FOR THE EFFECT OF CORROSION ON FIXED OFFSHORE PLATFORM

Name : Made Ayu Delvina Deviany
NRP : 04311440000140
Departement : Ocean Engineering
Supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D
Agro Wisudawan, S.T., M.T.

ABSTRACT

In the existing assessment platform, one of the things that must be taken into account is the presence of corrosion on the structure. One of the corrosion that occurs in offshore structures is the degradation of wall thickness. Corrosion effect on the thickness of the wall of the structure, where the thickness of the wall of this structure will affect the fatigue life of the structure and the residual strength of the structure. In this analysis, it will be discussed the impact of corrosion on the strength of the remaining structures. The corrosion is modeled as wall thickness degradation where the corrosion rate is 0.45 mm / year. This analysis is done by calculating the structure fatigue life for 3 years after inspection on the structure, and modeling if the structure has been given *doubling plate* after inspection. From the analysis results obtained how the effect of corrosion on the structure by dynamic load, residual strength, and fatigue life. In this analysis, the result of the smallest residual strength ratio value is 2,962 in the structure with the load direction 0° and the structure condition has been corrosion 3 years after the inspection. Then, from the analysis it is known that the smallest fatigue life, which is 3.08 years, occurred in condition 3 years after the inspection.

Keywords: Reserve Strength, Corrosion, Fatigue Life

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan izin-Nya, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini berjudul “**Analisis Kekuatan Sisa Struktur Bangunan Lepas Pantai Terpancang yang Terkorosi**” dengan baik dan lancar.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi sarjana (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang analisis pengaruh laju korosi yang telah ditentukan terhadap kekuatan dan umur struktur *jacket fixed platform*.

Demikian laporan ini disusun, penulis menyadari dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai bahan penyempurnaan pada laporan selanjutnya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam kegiatan kerja praktek ini, diantaranya:

1. Orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan, baik berupa moral maupun material.
2. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Agro Wisudawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang selalu membimbing dan memberikan saran kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc., Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc., Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D., serta Bapak Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji dari penulis yang telah memberikan kritik dan saran di Tugas Akhir ini.
4. Bapak Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T., Dr.Eng, selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan atas perizinan kerja praktek yang diberikan..
5. Bapak/Ibu Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Kelautan ITS atas bantuan administrasi yang diberikan kepada penulis.
6. Teman-teman angkatan 2014 Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan banyak informasi terkait Tugas Akhir ini maupun dukungan berupa doa.
7. Seluruh pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk menyempurnakan laporan ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1. Bangunan Lepas Pantai	8
2.2.2. Jacket Fixed Platform	9
2.2.3. Pembebanan pada Anjungan Lepas Pantai	11
2.2.4. Korosi	13
2.2.5. Analisa Pushover	16

2.2.6.	Kekuatan Sisa (<i>Reserve Strength Ratio</i>).....	17
2.2.7.	Analisa Kelelahan.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1.	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>).....	27
3.2.	Prosedur Penelitian	29
3.3.	Pengumpulan Data	30
3.3.1.	Data Struktur.....	30
3.3.2.	Data Pembebanan	33
3.3.3.	Data Lingkungan	34
3.3.4.	Data Inspeksi	35
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1.	Permodelan Struktur	39
4.2.	Validasi Permodelan	40
4.3.	Analisa <i>Inplace</i>	41
4.4.	Periode Natural	42
4.4.1.	Analisa Hasil Periode Natural	45
4.5.	<i>Dynamic Amplification Factor</i>	46
4.6.	<i>Stress Concentration Factor</i>	47
4.7.	S-N Curve	49
4.8.	Analisa Kelelahan	50
4.8.1.	Hasil Analisa Kelelahan	51
4.9.	Pushover Analysis.....	53
4.9.1.	Analisa Kekuatan Sisa	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	59

DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
BIODATA PENULIS	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 AW Platform pada tahun 2010	2
Gambar 2.1 <i>Examples of Offshore Structure</i>	9
Gambar 2.2 Elemen dari <i>Offshore Jacket Platform</i>	10
Gambar 2.4 Proses Terjadinya Korosi pada Permukaan Besi	13
Gambar 2.5 Galvanic Corrosion pada Pipa	15
Gambar 2.6 Dampak Korosi Erosi pada Pipa Elbow	16
Gambar 2.7 Contoh <i>joint</i> pada struktur	23
Gambar 2.8 Kurva S-N	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)	28
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)	29
Gambar 3.4 AW Platform pada tahun 2010	31
Gambar 3.5 Elevasi pada AW Platform	31
Gambar 3.6 AW Platform tampak atas.....	32
Gambar 3.7 Letak Korosi yang Terjadi pada area <i>splash zone</i>	36
Gambar 3.8 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing A1-A2.....	36
Gambar 3.9 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing A1-B1	37
Gambar 3.10 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing B1-B2	37
Gambar 3.11 <i>Underwater Area</i> pada AW Platform	38
Gambar 4.1 <i>Isometric View of AW Platform</i>	39
Gambar 4.2 AW Platform tampak atas.....	40
Gambar 4.3 Grafik Periode Natural pada setiap kondisi	45
Gambar 4.4 Grafik DAF pada setiap kondisi	47
Gambar 4.3 Contoh <i>joint</i> pada struktur	48
Gambar 4.5 Kurva S-N	50
Gambar 4.6 Hasil Umur Kelelahan pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi.....	51
Gambar 4.7 Selisih Umur Kelelahan pada kondisi inspeksi dan 3 tahun.....	52
Gambar 4.8 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi	56
Gambar 4.9 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Validity Range untuk Persamaan Efthymiou	22
Tabel 3.1 Data Lokasi Platform AW	32
Tabel 3.2 Deskripsi AW Platform	32
Tabel 3.3 Data Equipment serta Pembebanannya pada Struktur.....	33
Tabel 3.4 Data Equipment serta Pembebanannya pada Struktur (lanjutan)	34
Tabel 3.5 Data Kedalaman Perairan	34
Tabel 3.6 Kecepatan Angin saat Kondisi Operasi dan Badai.....	34
Tabel 3.7 Data Kecepatan Arus berdasarkan Kedalaman Perairan	35
Tabel 3.8 Data Gelombang	35
Tabel 3.10 Data Korosi pada Struktur	37
Tabel 3.11 Hasil Inspeksi <i>Wall Thickness Underwater Area</i>	38
Tabel 4.1 Validasi Beban Struktur (<i>Selfweight</i>)	40
Tabel 4.2 <i>Maximum Member Unity Check</i>	41
Tabel 4.3 Periode Natural Struktur pada Kondisi Awal	42
Tabel 4.4 Periode Natural Struktur pada Kondisi Awal (lanjutan)	43
Tabel 4.5 Periode Natural Struktur pada Kondisi Inspeksi	43
Tabel 4.6 Periode Natural Struktur setelah Mitigasi	43
Tabel 4.7 Periode Natural Struktur 1 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi .	44
Tabel 4.8 Periode Natural Struktur 2 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi .	44
Tabel 4.9 Periode Natural Struktur 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi .	44
Tabel 4.10 Periode Natural Struktur 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi (lanjutan).....	45
Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Periode Natural Struktur	46
Tabel 4.12 Nilai DAF pada Struktur	46
Tabel 4.13 <i>Validity Range</i> Persamaan Efthymiou	47
Tabel 4.14 Data pada tubular <i>joint</i> kritis	48
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Parameter	49
Tabel 4.16 Hasil Umur Kelelahan pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi	51
Tabel 4.17 Hasil Umur Kelelahan dari Struktur pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi.....	52
Tabel 4.18 Hasil RSR kondisi awal.....	53

Tabel 4.19 Hasil RSR kondisi awal (lanjutan)	54
Tabel 4.20 Hasil RSR saat Inspeksi.....	54
Tabel 4.21 Hasil RSR setelah Dilakukan Mitigasi	54
Tabel 4.22 Hasil RSR 1 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi	55
Tabel 4.23 Hasil RSR 2 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi	55
Tabel 4.24 Hasil RSR 3 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi	55
Tabel 4.25 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi	56
Tabel 4.26 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada umumnya bangunan lepas pantai memiliki umur operasi selama kurang lebih 20 tahun. Namun, di lain sisi banyak struktur lepas pantai yang telah beroperasi melebihi dari umur operasi yang ditentukan. Dari total 223 struktur lepas pantai yang dimiliki hanya 5% dari jumlahnya yang merupakan *platform* baru dengan usia kurang dari 10 tahun, dan sebanyak 15% untuk usia 11-20 tahun (Solland, 2011). Ketika bangunan lepas pantai telah beroperasi melebihi umur operasi yang ditentukan, maka akan dilakukan *life extend* pada struktur agar struktur dapat beroperasi melebihi batas waktu yang ditentukan namun sesuai dengan *standard* dan *codes* yang telah ditentukan. Ada lebih dari 7500 bangunan lepas pantai di dunia untuk industri minyak dan gas, dan 85% dari jumlahnya akan membutuhkan *assessment* lebih lanjut terkait dengan usianya (Shen, 2015). Sebelum dilakukan *life extend* pada struktur, perlu dilakukan kegiatan inspeksi. Tujuan dari inspeksi adalah mengetahui kondisi terbaru dari struktur dan menemukan hal lain yang tidak layak. Sehingga, nantinya dapat dilakukan mitigasi atau tindakan yang harus dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan keamanan struktur agar layak sesuai spesifikasi dan syarat kelayakan pada *platform* untuk beroperasi lebih lama.

Salah satu hal yang diperhatikan saat melakukan inspeksi adalah tingkat korosi yang terjadi pada struktur. Bangunan lepas pantai umumnya terbuat dari material baja atau logam, dimana material ini sangat mudah terkena pengaruh korosi. Selain itu, struktur lepas pantai terus-menerus terkena air laut dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya korosi, dikarenakan air laut yang bersifat basa akan mengalami reaksi kimia dengan material pada struktur (Gucuyen, 2014). Berdasarkan penyebab terjadi mekanismenya, korosi pada logam dapat dibagi menjadi *uniform*, *pit*, *crevice*, *impact*, *cavity buvble*, dan *galvanic corrosion*. Di antara semua jenis korosi tersebut, korosi seragam adalah bentuk yang paling umum dan dapat menyebabkan keruntuhan struktural lokal karena perubahan kekakuan struktural (Aeran, 2017). Korosi seragam disebabkan oleh

pemaparan langsung antara permukaan logam dan media korosif, kemudian tingkat korosi akan menyebar pada tingkat yang sama di semua bagian material (Wang, 2007). Korosi mengubah sifat mekanik baja dengan waktu, sehingga pada waktu tertentu korosi dapat menimbulkan terjadinya degradasi material sampai dengan munculnya lubang yang tidak dikehendaki. Ketika hal ini terjadi, maka kekuatan struktur menahan beban lingkungan semakin berkurang dan terjadi pengurangan berat struktur per satuan luas (Yu, 2009).



Gambar 1.1 AW Platform pada tahun 2010

(sumber: data proyek perusahaan)

Objek yang dianalisa pada tugas akhir ini adalah AW Platform. Platform ini merupakan bangunan lepas pantai dengan tipe *jacket platform* yang memiliki empat kaki dan diinstal pada tahun 1977. Pada struktur ini telah dilakukan inspeksi pada tahun 2015 dan dari inspeksi tersebut mengemukakan bahwa telah ditemukan adanya beberapa lubang pada *bracing* di area *splash zone* yang terjadi akibat adanya korosi. Sesuai dengan standar yang tertulis pada American Petroleum Institute RP 2A tahun 2007 menetapkan bahwa batas terjadinya degradasi *wall thickness* pada suatu pelat atau *member* struktur akibat korosi

adalah degradasi tidak lebih dari 60% ketebalan *member* yang mengalami korosi. Hal ini dikarenakan pengurangan *wall thickness* tersebut dikhawatirkan dapat menimbulkan terjadinya perubahan respon struktur yang dapat menimbulkan *collapse*. Sehingga, terjadi degradasi *wall thickness* di atas 60%, maka perlu dilakukan mitigasi berupa *doubling plate* atau sistem *grouting*. Namun, pada kenyataannya AW Platform telah mengalami lebih dari 60% ketebalan *member* sebelum terjadi korosi dan mitigasi tidak dilakukan sampai saat ini.

Maka dari itu, pada penelitian kali ini penulis melakukan analisa pengaruh korosi terhadap kekuatan sisa pada struktur bangunan lepas pantai terpancang. Korosi yang terjadi pada AW Platform akan dimodelkan saat struktur belum mengalami korosi dan setelah mengalami korosi sesuai data inspeksi yang didapatkan, yaitu terletak pada bagian *splash zone*. Selain itu, permodelan juga dilakukan dengan memodelkan mitigasi *doubling plate* pada *member* dan *bracing* pada *jacket* yang mengalami korosi, serta korosi yang terjadi akan divariasikan selama 3 tahun dengan nilai laju korosi sebesar 0,45 mm/tahun.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan di bahas pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa nilai *rasio kekuatan sisa* pada AW platform dengan variasi laju korosi pada struktur sebesar 0,45 mm/tahun?
2. Bagaimana perbandingan besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada AW platform jika setelah inspeksi dilakukan mitigasi pada struktur?
3. Bagaimana pengaruh korosi terhadap umur kelelahan struktur AW platform?

1.3. Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah, maka berikut adalah tujuan-tujuan yang ingin dicapai oleh penulis:

1. Mendapatkan dan mengetahui nilai rasio kekuatan sisa atau *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada AW platform dengan variasi ketebalan *member*.

2. Mendapatkan dan mengetahui perbandingan besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada AW platform jika setelah inspeksi dilakukan mitigasi pada struktur.
3. Mendapatkan dan mengetahui nilai umur kelelahan, serta perbandingannya terhadap korosi pada struktur AW *platform*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh adalah mengetahui bagaimana pengaruh korosi terhadap struktur bangunan lepas pantai yang *design life*-nya sudah habis. Selain itu, hasil analisa ini dapat dipertimbangkan untuk melakukan perpanjangan umur operasi pada struktur lepas pantai. Dari hasil analisa tersebut juga dapat diketahui kekuatan sisa struktur dan pergerakan yang terjadi pada bangunan lepas pantai apabila terjadi degradasi *wall thickness* yang divariasikan.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat beberapa batasan-batasan yang diterapkan agar topik yang dianalisa tidak terlalu luas. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Permodelan dilakukan dengan 5 kondisi yang berbeda, yaitu kondisi struktur mengalami korosi sesuai data inspeksi yang telah dilakukan, kondisi struktur telah dilakukan mitigasi, dan kondisi struktur mengalami korosi 3 tahun setelah dilakukan inspeksi.
2. Pada penelitian ini korosi yang terjadi hanya diasumsikan mengalami degradasi secara bersamaan pada *member* sesuai dengan data inspeksi.
3. Pada pemrograman *SACS 5.7*, variabel yang divariasikan adalah ketebalan dari korosi yang terjadi pada *bracing jacket*.
4. Degradasi *wall thickness* pada struktur mengalami korosi dengan laju korosi pada struktur sebesar 0,45 mm/tahun.
5. Codes yang digunakan adalah API RP2A WSD, ISO 19902, dan AISC – Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 9th Edition.
6. Permodelan struktur dilakukan dengan software *SACS 5.7*.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini secara umum dapat dilihat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penelitian, permasalahan yang perlu dijawab dalam penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh, serta batasan-batasan masalah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori yang berpedoman pada beberapa penelitian terkait yang pernah dilakukan untuk referensi penelitian ini sebagai salah satu acuan dalam laporan tugas akhir ini. Selain itu, digunakan juga literatur, buku, dan *codes* yang berkaitan dengan *offshore structure* sebagai dasar teori dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan tentang langkah-langkah penyelesaian analisis dan melakukan validasi. Dalam hal ini meliputi langkah awal yang harus dilakukan dan studi literatur yang dapat menunjang penyelesaian dari pembahasan masalah, seperti halnya pengumpulan data-data pendukung.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan langkah analisis terhadap rumusan masalah yang dihadapi. Pada bab ini juga disampaikan hasil akhir analisis terhadap data yang dilakukan hingga dapat menjawab permasalahan pada tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil pembahasan bab yang sebelumnya dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian yang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang dipakai selama penelitian.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sampai saat ini analisa mengenai pengaruh korosi terhadap kekuatan sisa pada *offshore platform* belum banyak dilakukan. Beberapa diantaranya adalah analisis umur kelelahan sisa pada *ageing offshore structure* yang ditulis oleh Ashish Aeran dari University of Stavanger, Norway pada tahun 2017. Kemudian, terdapat penelitian dilakukan oleh Shen (2015) mengenai metode pada *assessment aged platform*. Dalam hasil tulisannya mengemukakan bahwa analisa integritas platform dapat dilakukan dengan mengimplementasikan tes dinamis tanpa tambahan data lainnya. Selain itu, beberapa penelitian mengenai korosi pada struktur bangunan lepas pantai telah dilakukan. Salah satunya dilakukan oleh Yong Bai dan Younghoon Kim pada tahun 2015 mengenai *assessment* pada struktur *jacket* yang mengalami korosi uniform. Pada penelitian tersebut dimodelkan rasio korosi secara global dan local, kemudian didapatkan hasil kesimpulan bahwa korosi yang terjadi pada bagian *jacket* yang berada di bawah permukaan air memiliki efek yang lebih besar pada umur kelelahan sisa daripada korosi yang terjadi pada daerah *splash zone*.

Analisa *ultimate strength* atau *pushover analysis* merupakan analisis statis non linier untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur dalam menerima beban maksimal hingga struktur mengalami keruntuhan (Robayasa, 2012). Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan simulasi penambahan beban secara bertahap sampai struktur tersebut runtuh. Dari hasil tersebut akan diketahui *Reserve Strength Ratio* (RSR) atau rasio kekuatan cadangan struktur untuk mengetahui *jacket* memiliki cukup kekuatan dan stabilitas dalam menahan beban akibat *overstress* lokal yang melebihi tegangan ijin namun tidak sampai mengalami keruntuhan. Struktur dianalisis berdasarkan variasi kedalaman *subsidence* guna mengetahui keandalan apabila struktur mengalami perubahan dari desain perancangannya. Penelitian lain juga ditulis oleh R. Joavin (2017) dengan judul “*Stress state reassessment of Romanian offshore structures taking into account corrosion influence*”. Sedangkan, pada tahun 2016 dilakukan *strength assessment* dengan permodelan struktur bangunan lepas pantai yang mengalami korosi yang ditulis oleh Ali Sari.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Bangunan Lepas Pantai

Proses eksplorasi minyak membutuhkan sebuah fasilitas yang menunjang kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi yaitu sebuah struktur platform. Struktur yang digunakan di offshore berbeda dengan struktur yang digunakan di darat, struktur *offshore* dibuat berdasarkan kedalaman tempat operasi. Industri perminyakan di *offshore* juga didesain sedemikian rupa agar dapat beroperasi di lingkungan laut, baik dalam kondisi operasional maupun dalam kondisi ekstrim. Saat ini bangunan lepas pantai telah berkembang yang dibuktikan dengan adanya berbagai jenis offshore structure di lepas pantai yang berfungsi sebagai *production platform*, *wellhead platform*, *service platform*, maupun fungsi yang lain. Beberapa konsep struktur bangunan lepas pantai antara lain:

a. Fixed Offshore Structure (Struktur Terpancang)

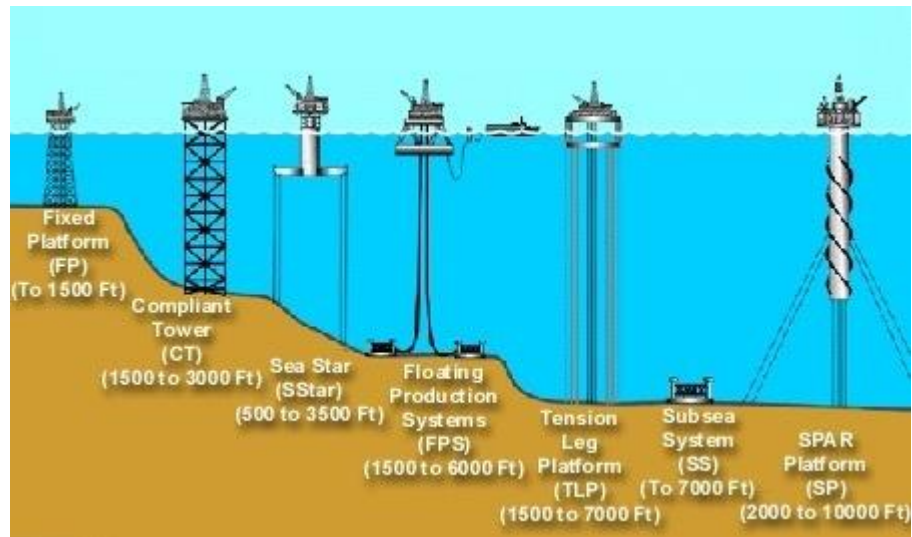
Pada konstruksi terpancang, beban vertikal, horizontal, dan momen dapat ditransformasikan oleh konstruksi pondasi ke dasar laut. Tipe ini merupakan tipe paling tua dan paling banyak dibangun. Salah satu kelemahan dari bangunan lepas pantai tipe ini adalah biaya produksi dan biaya instalasi struktur baja akan naik secara eksponensial terhadap kedalaman. Contohnya yaitu *jacket* dan *jack up platform*.

b. Floating Offshore Structure (Struktur Terapung)

Tipe ini mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik mooring line atau dynamic positioning. Untuk anjungan tipe ini yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut.

c. Compliant Structure (Struktur Lentur)

Anjungan tipe ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan fungsi-fungsi khusus seperti faktor ekonomi dan faktor teknis. Prinsip perencanaan umum anjungan struktur lentur adalah mendapatkan solusi optimal terhadap persyaratan-persyaratan fungsi-fungsi tersebut. Beberapa contoh dari tipe ini diantaranya *Tension Leg Platform (TLP)*.

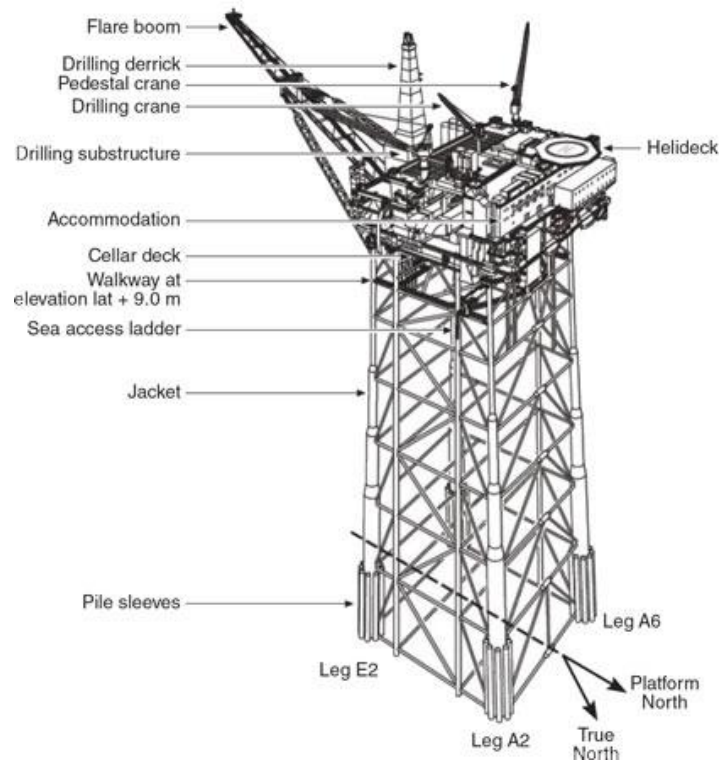


Gambar 2.1 *Examples of Offshore Structure*
(sumber: <http://www.foxoildrilling.com/resources.html>)

2.2.2. Jacket Fixed Platform

Jacket fixed platform merupakan salah satu bangunan lepas pantai terpancang yang berfungsi sebagai eksplorasi atau pengeboran dan produksi minyak dan gas. Platform ini merupakan jenis anjungan lepas pantai yang paling umum digunakan dalam aktivitas eksplorasi minyak dan gas (Adibhakti, 2010). Sampai saat ini jenis *platform* memiliki jumlahnya lebih 400 di perairan Indonesia. Tipe bangunan lepas pantai ini digunakan pada perairan dangkal sampai dengan kedalaman 400 meter di bawah permukaan laut.

Offshore jacket structure terdiri dari *jacket leg structure* dan *deck structure*. Jumlah kaki (*jacket leg*) dapat terdiri dari 3, 4, 6, 8 jumlah kaki dan hal ini tergantung beban yang ditopang (*deck load*). Pada konstruksi terpancang, beban vertikal, beban horizontal, dan moment dapat ditransformasikan oleh konstruksi kaki-kakinya melalui pondasi ke dasar laut. Ukuran pondasi menentukan distribusi beban ke dasar laut dan ukuran struktur secara keseluruhan. Bagian ini merupakan bagian yang tercelup di dalam air yang berfungsi sebagai selubung untuk *guidance pile* dan penahan gaya lateral bertujuan untuk menjaga kestabilan konstruksi (Joavina, 2017). Di samping itu, berfungsi sebagai penyangga bagi beberapa peralatan seperti *riser*, *caissons*, *boat landing*, dan lain-lain. *Jacket fixed platform* memiliki beberapa komponen sebagai berikut:



Gambar 2.2 Elemen dari *Offshore Jacket Platform*
(sumber: <https://www.nap.edu/read/9072/chapter/5>)

1. Deck / Topside Structure

Merupakan bagian paling atas dari struktur yang berfungsi sebagai bagian utama selama masa operasi. Bagian ini berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan *equipment-equipment* yang digunakan dalam proses produksi dan tempat beraktifitas *crew* yang sedang bertugas. Deck memiliki beberapa bagian, yaitu *main deck*, *cellar deck*, *sub cellar deck*, dan *mezzanine deck*.

2. Jacket

Komponen ini terletak di bawah deck dan menjadi sambungan turbular antara kaki-kaki jacket. Sesuai dengan letaknya, salah satu fungsi jacket adalah sebagai penyokong kekuatan untuk deck. Selain itu, komponen juga sebagai pelindung *riser* dari beban eksternal dan penyokong beberapa sub-struktur seperti *boat landing*.

3. Pile

Pile merupakan komponen struktur yang berfungsi sebagai pondasi dari struktur tersebut. Pile terletak di dalam jacket dan terpancang di dasar laut. Secara

umum, *terdapat* 2 tipe pile yang sering digunakan pada anjungan lepas pantai, yaitu *Pile Through Leg (Conventional Pile)* dan *Skirt Pile*. Perbedaan keduanya terletak pada saat instalasinya di *jacket leg*. Pada instalasi *conventional pile*, pile dimasukkan ke dalam *jacket leg*, sedangkan *skirt pile* dipasang di luar dan sekitar *jacket leg*.

2.2.3. Pembebanan pada Anjungan Lepas Pantai

Dalam melakukan instalasi dan desain anjungan lepas pantai, diperlukan analisis pembebanan yang terjadi pada struktur. Hal ini bertujuan agar struktur dapat beroperasi dengan adanya pembebanan dalam umur struktur yang ditentukan. Selain pada instalasi, pembebanan juga perlu diperhatikan pada saat kondisi operasi, karena nilai pembebanan dapat berubah sesuai dengan kondisi tertentu, terutama pada beban lingkungan yang tidak dapat diprediksi. Berdasarkan kriteria dari API RP 2A WSD, terdapat beberapa jenis pembebanan utama pada anjungan lepas pantai:

2.2.3.1. Beban Mati / *Dead Load*

Yang termasuk dalam kategori beban mati atau *dead load* pada anjungan lepas pantai terpancang menurut API RP 2A WSD adalah berat dari seluruh anjungan itu sendiri serta berat equipment yang terpasang secara permanen. Beban mati meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Berat struktur *platform*, termasuk berat dari *piles*, *grout*, dan *ballast*.
2. Berat *equipment* dan *appurtenance* yang berada di anjungan secara permanen.
3. Gaya-gaya hidrostatik yang bekerja pada bagian struktur di bawah permukaan air, yang meliputi tekanan hidrostatik dan gaya apung.

2.2.3.2. Beban Hidup / *Live Load*

Beban hidup merupakan beban yang diterima platform dalam kondisi operasi, dan dapat berubah-ubah sesuai kondisi operasinya. Yang termasuk dalam beban hidup adalah sebagai berikut:

1. Berat dari *equipment* untuk pengeboran atau produksi yang bersifat tidak permanen.

2. Berat dari *heliport*, peralatan keselamatan, tempat tinggal untuk *crew*, peralatan selam, dan peralatan lain yang berfungsi sebagai penunjang kehidupan yang dapat ditambahkan atau dilepaskan sesuai kondisi operasi.
3. Berat dari suplai dan cairan yang berubah mengikuti fungsi waktu yang ada pada tangka penyimpanan.
4. Gaya-gaya yang diterima struktur selama operasi seperti *drilling*, *vessel mooring* dan beban *helicopter* di heliport.
5. Beban crane pada saat kondisi operasi, dalam artian sedang melakukan kegiatan pengangkutan dan peletakan.

2.2.3.3. Beban Lingkungan / *Environmental Load*

Beban lingkungan yang bekerja pada struktur biasanya disebabkan oleh fenomena-fenomena alam. Struktur harus mampu menghadapi beban lingkungan dari segala arah. Pembebanan pada struktur diperkirakan berdasarkan fungsi dari beberapa variabel, misalnya tinggi gelombang, periode gelombang, kecepatan angin, arah angin dan arus (Zachary, 1998). Akibat dari beban yang bekerja pada struktur, maka struktur menghasilkan respon terhadap beban tersebut (Hagemeijer, 1990). Beban-beban lingkungan yang terkait dengan anjungan lepas pantai adalah sebagai berikut:

1. Angin

Angin yang berhembus dan mengenai bagian-bagian struktur yang berada di atas permukaan laut, memberikan tekanan pada struktur tersebut.

2. Arus

Beban arus adalah beban karena tekanan akibat laju pergerakan gelombang pada bagian-bagian struktur yang berada di bawah di permukaan air laut.

3. Gelombang

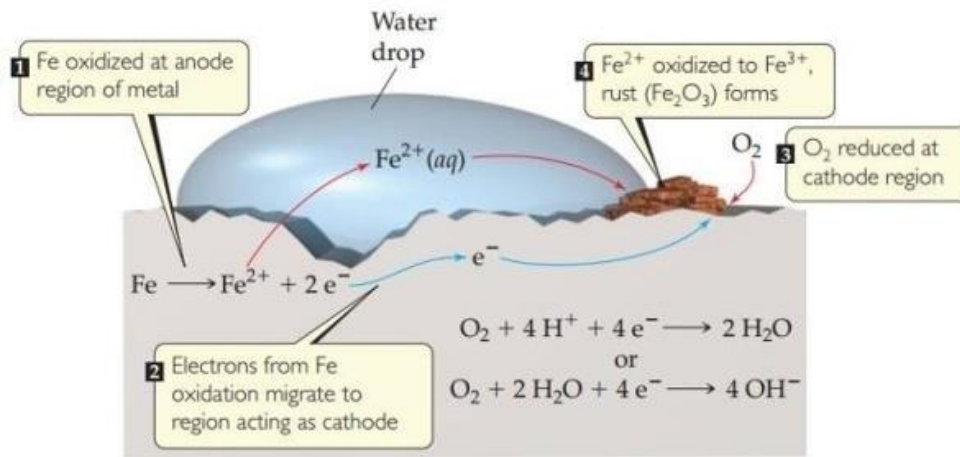
Gaya gelombang merupakan gaya yang paling dominan berpengaruh pada operabilitas struktur anjungan. Beban gelombang memberikan dampak yang signifikan pada daerah di dekat permukaan air.

4. Pasang surut

Pasang surut menyebabkan tambahan gaya hidrostatik pada member-member *jacket* yang berada di bawah permukaan air.

2.2.4. Korosi

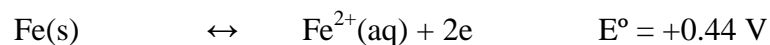
Korosi merupakan fenomena terjadinya kerusakan atau degradasi suatu material diakibatkan reaksi redoks antara suatu material logam dan berbagai zat di lingkungannya sehingga menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Kebanyakan proses korosi bersifat elektrokimia, dimana larutan berfungsi sebagai elektrolit sedangkan anoda dan katoda terbentuk karena adanya inhomogenitas (Ramadhana, 2008). Kedua, reaksi tersebut berlangsung secara bersamaan, artinya bila salah satu reaksi tidak berlangsung maka korosi tidak terjadi (Chawla, 1993). Proses korosi pada besi dapat dilihat pada ilustrasi berikut:



Gambar 2.3 Proses Terjadinya Korosi pada Permukaan Besi

(sumber: StudioBelajar.com)

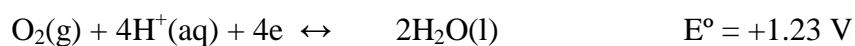
Rumus kimia karat besi adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah. Korosi merupakan proses elektrokimia. Pada korosi besi, bagian tertentu dari besi itu berlaku sebagai anode, di mana besi mengalami oksidasi:



Elektron yang dibebaskan di anode mengalir ke bagian lain besi itu yang bertindak sebagai katode, di mana oksigen tereduksi.

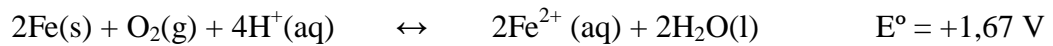


atau



Ion besi (II) yang terbentuk pada anode selanjutnya teroksidasi membentuk ion besi(III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, yaitu

karat besi. Pada umumnya, reaksi reduksi yang terjadi adalah reaksi reduksi oksigen dengan H^+ , sebagaimana medium terjadinya korosi cenderung bersifat asam dan reaksi reduksi dalam suasana asam cenderung lebih spontan, sebagaimana potensial reduksinya lebih besar (+1,23 V). Maka terjadi reaksi kimia keseluruhan sebagai berikut,



Berdasarkan bentuk penyebab terjadinya, korosi dapat terbagi menjadi beberapa jenis. Berikut adalah beberapa jenis dari korosi:

a. *General/Uniform Corrosion*

Seperti dengan namanya, korosi ini disebabkan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi secara bersamaan atau seragam pada suatu permukaan logam. Biasanya disebabkan karena logam terkena paparan air dengan kadar pH yang rendah, serta udara yang lembab (Utomo, 2009). Korosi ini sering terjadi pada pelat baja atau logam yang bersifat homogen. Dampak yang ditimbulkan *uniform corrosion* adalah terjadinya penipisan pada permukaan dan akhirnya menyebabkan kegagalan karena ketidakmampuan untuk menahan beban.

b. *Crevice Corrosion*

Merupakan korosi yang terjadi di celah-celah pada suatu material atau peralatan. Tipe korosi ini terjadi akibat terjebakanya elektrolit sebagai lingkungan korosif pada celah-celah yang terbentuk pada peralatan konstruksi. Korosi sering terjadi pada sekrup yang memiliki celah, sambungan yang tertindih, dan sebagainya.

c. *Galvanic Corrosion*

Merupakan korosi yang terjadi akibat adanya pertemuan antara dua logam dengan nilai energi potensial yang berbeda. Sehingga, logam dengan nilai energi potensial yang lebih rendah akan lebih cepat mengalami korosi dibandingkan dengan logam lainnya. Pencegahan korosi ini adalah dengan menggunakan satu jenis material yang sama atau menggunakan kombinasi beberapa material yang memiliki sifat galvanis yang mirip, menggunakan

insulasi pada sambungan antara logam, serta mengurangi karakteristik korosi dari fluida.



Gambar 2.4 Galvanic Corrosion pada Pipa

(sumber: <https://www.nachi.org/galvanic-corrosion.html>)

d. *Pitting Corrosion*

Merupakan fenomena korosi dimana proses korosi terjadi pada suatu area pada permukaan logam. Korosi menyebabkan terjadinya lubang pada permukaan tersebut. Korosi ini biasanya disebabkan oleh *chloride* atau *ion* yang mengandung *chlorine* (Utomo, 2009).

e. *Stress Corrosion*

Korosi ini terjadi apabila beban yang diterima oleh logam melebihi suatu *minimum stress level*. Sehingga, mengakibatkan adanya tegangan berlebihan pada material yang dapat menimbulkan *crack*.

f. *Erosion Corrosion*

Korosi ini disebabkan karena adanya pergerakan fluida yang relatif tinggi. Sehingga, menimbulkan pengikisan atau degradasi pada material logam. Korosi ini dapat dihindari dengan cara memilih bahan material yang homogen, memberi coating dari zat agresif, dan memberikan inhibitor. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller.



Gambar 2.5 Dampak Korosi Erosi pada Pipa Elbow

(sumber: <https://pipingbloging.wordpress.com/2011/erosion-corrosion/>)

g. Korosi Mikrobiologi

Korosi yang terjadi karena mikroba atau mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memberi lapisan pelindung atau *coating* agar lapisan logam terlindung dari lingkungannya dan melakukan perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban.

2.2.5. Analisa Pushover

Analisis ini biasanya digunakan pada platform yang telah beroperasi pada kurun waktu tertentu dan bertujuan untuk dilakukan *existing platform*. Dalam analisa pushover dilakukan pendekatan analisa non-linear, yaitu analisis yang membandingkan gaya dalam akibat beban yang terjadi dengan kekuatan struktur sampai batas plastis struktur dengan asumsi bahwa ketika struktur melewati batas elastis, maka struktur dapat dikatakan gagal (Setiawan, 2008). Ada dua jenis *load case* dalam pemodelan beban analisa *pushover*. *Load case* pertama yaitu beban vertikal yang bekerja pada struktur. Kemudian *load case* kedua adalah beban horizontal yang merupakan beban lingkungan dalam kondisi ekstrim (Hartanto, 2012). Analisa non linear dilakukan untuk mendapatkan kapasitas maksimum dari struktur atau *ultimate strength*, serta dapat diketahui perilaku dan kekuatan struktur dari awal sampai dengan terjadi *collapse*. Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi

yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis (Setyadi, 2007).

Analisa ini dilakukan dengan dua tahap. Tahap awal adalah melakukan pembebanan gravitasi pada struktur untuk mengetahui respon struktur. Tahap ini dilakukan dengan nilai kekakuan struktur yang linear. Kemudian, tahap selanjutnya adalah memberikan beban lingkungan pada struktur. Beban lingkungan akan terus dilakukan secara bertahap hingga beban lingkungan dalam kondisi ekstrem didapatkan (ISO 19902, 2007). Selanjutnya, dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk dilakukan analisa yang lebih mendetail. Kemudian, dari analisa pushover ini didapatkan *displacement* dan nilai *base shear* pada struktur yang merepresentasikan gaya yang terjadi pada struktur. *Base shear* merupakan gaya reaksi maksimum yang bekerja dipermukaan tanah akibat beban lateral. Dari nilai *base shear* tersebut dapat dihitung nilai *Ratio Strength Reserve* (RSR) atau nilai kekuatan sisa dari struktur.

2.2.6. Kekuatan Sisa (*Reserve Strength Ratio*)

Pada umumnya setiap bangunan memiliki batas kekuatan stuktur yang berbeda-beda. Biasanya saat mendesain struktur, batas tersebut dinyatakan dalam *utility check* (UC). Pengecekan *utility* tersebut dilakukan pada setiap *member* pada struktur dengan kriteria nilai UC yang tidak lebih dari 1.0 (Ersdal, 2005).

Selain UC, terdapat indikator lain yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan struktural adalah nilai dari rasio kekuatan cadangan atau *reserve strength ratio* (RSR). *Reserve Strength Ratio* merupakan nilai kekuatan sisa atau cadangan yang dimiliki oleh struktur yang dapat menahan beban secara ekstrem. Nilai RSR mencakup kekuatan struktural dan kemampuan struktur untuk mendistribusikan kembali ke posisi semula (Pradnyana, 2013). RSR dapat didefinisikan sebagai rasio antara beban maksimum yang dapat ditoleransi oleh struktur sesuai dengan non-linear analysis dan beban desain dari struktur, maka RSR dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\text{Reserve Strength Ratio} = \frac{\text{Ultimate Platform Resistance}}{\text{Design Load}} \quad (2.1)$$

2.2.7. Analisa Kelelahan

Struktur dapat gagal apabila struktur itu mendapat beban yang melebihi batas kemampuannya. Namun, struktur juga dapat gagal apabila mendapat beban yang berulang secara periodik maupun acak dengan nominal dibawah batas kemampuannya. Beban yang bekerja secara berulang tersebut dapat menyebabkan kelelahan pada struktur sehingga dapat berpengaruh pada umur operasi struktur tersebut . Oleh karena itu, dilakukan analisa kelelahan yang digunakan untuk memprediksi besar relatif dari *fatigue life* pada sambungan atau *joint* kritis.

Analisa kelelahan pada struktur sering disebut dengan analisa *fatigue* adalah analisa ketahanan struktur terhadap beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor dinamis struktur dan karakteristik beban dinamis. Hasil analisis *fatigue* berupa lama siklus waktu (tahun) yang menunjukkan kemampuan struktur untuk menerima atau menahan beban dinamis yang bekerja di lingkungan dimana struktur tersebut berada. Analisa *fatigue* dapat dikategorikan sebagai analisa dinamis karena memperhitungkan pergerakan struktur terhadap beban gelombang yang setiap saat menerpa struktur (Chakrabarti, 2005). Analisa dinamis memperhitungkan faktor dinamis yang terdiri dari distribusi massa dan kekakuan struktur yang ditunjukkan oleh *eigenvalue* (periode alami struktur), dan beban dinamis sendiri (besarnya beban dan periodenya). Pengaruh faktor dinamis ini ditunjukkan oleh *dynamic amplification factor* (DAF) yang didefinisikan sebagai perbandingan deformasi analisa dinamis terhadap deformasi analisa statis.

Beberapa pendekatan yang digunakan dalam analisis umur kelelahan pada struktur antara lain metode analisis deterministik dan metode analisis *spectral*. Analisis yang digunakan dalam tugas akhir adalah metode analisa deterministik (berdasarkan API RP 2A). Analisa deterministik sesuai untuk digunakan pada struktur yang memiliki rentang antara periode natural dan periode gelombang yang cukup lebar (Ngunyen, 2016).

2.2.7.1. Periode Natural

Bangunan lepas pantai memiliki periode natural sendiri. Periode Natural (T) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menempuh satu gerakan lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi semula tanpa adanya pengaruh beban eksternal. Maka, dapat dikatakan bahwa periode natural adalah periode getaran alami dari struktur yang bergantung pada massa

dan kekakuan dari struktur. Persamaan dari periode natural dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.2)$$

Dengan:

T : Periode Natural (detik)

m : Massa Struktur (kg)

k : Kekakuan

Namun, pada kenyataannya perhitungan eksak mengenai periode getar struktur sangatlah sulit untuk dilakukan, karena periode getar adalah fungsi dari massa dan kekakuan seperti pada rumus diatas. Kekakuan sendiri dipengaruhi oleh elemen non struktural yang umumnya tidak dipertimbangkan dalam perancangan, sedangkan massa adalah sebuah kuantitas acak yang tergantung pada penggunaan struktur pada saat terjadi gempa.

2.2.7.2. Dynamic Amplification Factor

Apabila suatu struktur dengan periode natural tertentu dihadapkan pada beban siklis dengan periode yang mendekati periode naturalnya, maka sangat rawan sekali terjadi resonansi. Resonansi ini menyebabkan *amplification* atau pembesaran *magnitude* beban yang terjadi pada struktur. Suatu nilai faktor yang memperbesar *magnitude* beban inilah yang disebut sebagai *Dynamic Amplification Factor* atau yang selanjutnya disebut sebagai DAF. Definisi dari DAF sendiri adalah nilai faktor tanpa dimensi yang menunjukkan kemampuan struktur menerima tegangan yang diakibatkan oleh beban dinamis. DAF dapat dituliskan dalam persamaan berikut,

$$DAF = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{T_n}{T}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi\left(\frac{T_n}{T}\right)^2\right]^2} \quad (2.3)$$

Dengan:

T_n : Periode natural struktur (detik)

T : Periode gelombang regular (detik)

ξ : Rasio redaman

Nilai dari rasio redaman (ξ) diperoleh dari standar API RP 2A yang menyarankan untuk menggunakan rasio redaman sebanyak 2% atau 0,02. Dari persamaan 2.3 dapat dilihat bahwa nilai DAF akan semakin meningkat jika nilai dari perbandingan antara periode natural dan periode gelombang mendekati 1. Perhitungan DAF dilakukan untuk setiap periode gelombang pada data sebaran gelombang.

2.2.7.3. Stress Concentration Factor

Konsentrasi tegangan terjadi pada daerah-daerah benda yang mengalami perubahan geometri, misalnya di sekitar lubang, *discontinuity*, *defect*, dan sebagainya. Konsentrasi tegangan akan menurunkan umur kelelahan (*fatigue life*). Besarnya konsentrasi tegangan dapat diketahui dengan menghitung faktor konsentrasi tegangan (*stress concentration factor*), dimana SCF merupakan perbandingan antara tegangan tertinggi yang berada di sekitar *discontinuity*, biasanya disebut dengan *hot spot stress* (Hss) dengan tegangan yang terjadi pada kondisi mulus (σ_{nom}). Faktor ini dipengaruhi oleh besaran-besaran dari sambungan, konfigurasi sambungan, dan load path gaya. Sehingga, SCF dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut,

$$A = \frac{Hss}{\sigma_{nom}} \quad (2.4)$$

Pada bangunan lepas pantai yang sangat rawan adalah pada bagian sambungan *tubular*, yaitu pada *joint-joint* pertemuan cabang atau *brace*. Sehingga, dapat dikatakan pada sambungan inilah terjadi konsentrasi tegangan karena sambungan adalah tempat pertemuan gaya-gaya dari *brace* pada *jacket*, serta pada daerah ini terjadi diskontinuitas geometri. Untuk menentukan besaran SCF, digunakan pendekatan empiris sebagai berikut:

1. Persamaan Kuang

Persamaan Kuang mencakup perhitungan tegangan untuk konfigurasi sambungan dengan jenis T/Y, K, dan KT. Metode ini biasanya menggunakan permodelan metode elemen hingga yang dirancang khusus untuk menganalisis sambungan tubular. Koneksi tubular dimodelkan tanpa *fillet* las dan tekanan diukur pada bagian tengah dinding dari *member*. Namun, metode ini memiliki batasan

yang cukup banyak, sehingga tidak semua sambungan dapat dihitung menggunakan metode Kuang. Persamaan SCF untuk *chord* dari Kuang dapat dituliskan sebagai berikut,

$$SCF_{AX/T,Y} = 1,981 \alpha^{0,057} \ell^{-1,2} \beta^3 \gamma^{0,08} \tau^{1,33} \sin^{1,694} \theta$$

$$SCF_{IPB/T,Y} = 0,702 \beta^{-0,4} \gamma^{0,6} \tau^{8,860} \sin^{0,57} \theta$$

$$SCF_{OPB/T,Y} = 1,020 \beta^{0,787} \gamma^{1,014} \tau^{0,889} \sin^{1,557} \theta$$

Dengan,

α : Rasio panjang dan diameter *member*

β : Rasio diameter

τ : Rasio ketebalan

θ : Sudut orientasi ($^{\circ}$)

γ : Rasio kelangsingan *chord*

2. Persamaan Wordsworth/Smedley (W/S Equation)

Persamaan Wordsworth /Smedley dirumuskan dengan menggunakan hasil uji model akrilik pada sambungan tubular yang dimodelkan tanpa *fillet* las. Persamaan ini menggunakan rumusan SCF menggunakan faktor sederhana yang diterapkan pada SCF *chordside*. Akibatnya, prediksi SCF pada *braceside* cenderung agak konservatif dibandingkan dengan SCF *braceside* pada persamaan yang lain. Namun, perlu dicatat bahwa SCF *braceside* pada *tubular joint* biasanya bernilai lebih kecil dari SCF *chordside*. Persamaan Smedley digunakan jika *tubular joint* memenuhi parameter sebagai berikut :

$$8 \leq \alpha \leq 40$$

$$0,25 \leq \tau \leq 1$$

$$0,13 \leq \beta \leq 1,0$$

$$30^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$$

$$12 \leq \beta \leq 32$$

Dengan,

α : Rasio panjang dan diameter *member*

β : Rasio diameter

- τ : Rasio ketebalan
 θ : Sudut orientasi ($^{\circ}$)
 γ : Rasio kelangsingan *chord*

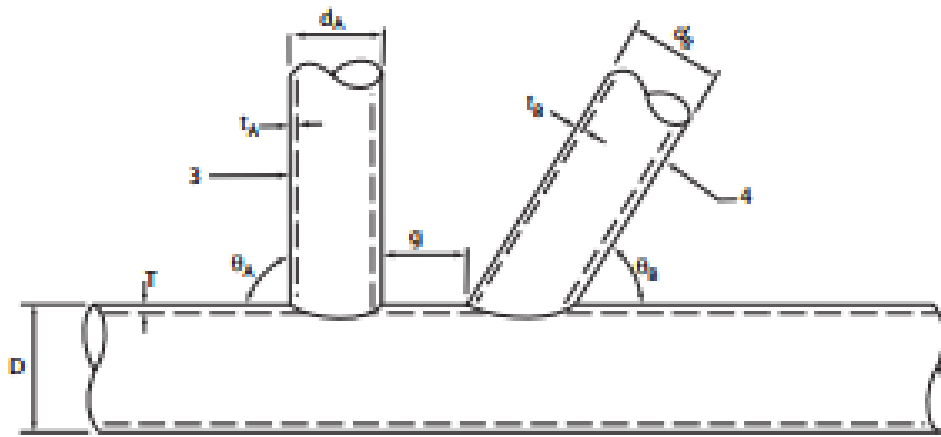
3. Persamaan Efthymiou

Dari beberapa persamaan di atas, persamaan Efthymiou merupakan persamaan yang memiliki batasan paling luas dan paling cocok untuk bangunan lepas pantai. Hal ini dikarenakan persamaan ini memiliki pendekatan yang paling cocok untuk struktur dengan material baja dan kondisi lingkungan yang bersifat acak.

SCF yang diberikan oleh Efthymiou juga disarankan penggunaannya dalam *Proposed Revisions for Fatigue Design of Welded Connections* yang dikembangkan oleh *International Institute of Welding* Eurocode 3 dan ISO DIS 14347. Namun, perlu diperhatikan bahwa terdapat rentang batasan yang menentukan kesesuaian SCF Efthymiou untuk digunakan, beberapa batasan geometri dapat dituliskan sebagai berikut,

Tabel 2.1 Validity Range untuk Persamaan Efthymiou

Keterangan	Persamaan	Rentang Batasan
Rasio Diameter	$\beta = d/D$	$0,2 \leq \beta \leq 1$
Rasio Ketebalan	$\tau = t/T$	$0,2 \leq \tau \leq 1$
Rasio Kelangsingan <i>Chord</i>	$\gamma = D/2T$	$8 \leq \gamma \leq 0,32$
Rasio Gap dan Diameter	$\zeta = g/D$	$0,04 \leq \zeta \leq 0,2$
Rasio Panjang dan Diameter	$\alpha = 2L/D$	$4 \leq \alpha \leq 40$
Sudut Orientasi	-	$20^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$



Gambar 2.6 Contoh *joint* pada struktur
(sumber: PI RP 2A 22nd Edition, 2007)

Dengan,

- d : diameter *brace*
- D : diameter *chord*
- t : ketebalan *brace*
- T : ketebalan *chord*
- L : panjang *chord*
- g : gap

Batasan-batasan tersebut perlu untuk dipenuhi dalam menggunakan formula parametrik SCF yang diberikan oleh Efthymiou. Batasan-batasan di atas sangat umum pada bangunan lepas pantai, hal ini yang menjadikan Efthymiou dikatakan *robust* untuk berbagai sambungan *tubular* secara umum. Seluruh perhitungan SCF dilakukan dengan bantuan *software* SACS untuk mengurangi waktu dan beban komputasi yang terjadi apabila dilakukan dengan perhitungan tangan.

2.2.7.4. S-N Curve

Untuk mengetahui karakteristik kelelahan dari struktur perlu ditinjau dengan adanya kurva S-N. Kurva S-N adalah grafik karakteristik kelelahan yang umum digunakan dari suatu bahan atau material yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen pada material baja yang diberi beban secara berulang dengan jumlah siklus (N) sampai terjadi kegagalan.

Besarnya N berbanding terbalik dengan rentang tegangan (S). Kurva ini menyediakan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Berdasarkan API RP 2A WSD tahun 2007, kurva S-N dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log}_{10}(N) = \text{Log}_{10}(k_1) - m \text{Log}_{10}(S) \quad (2.5)$$

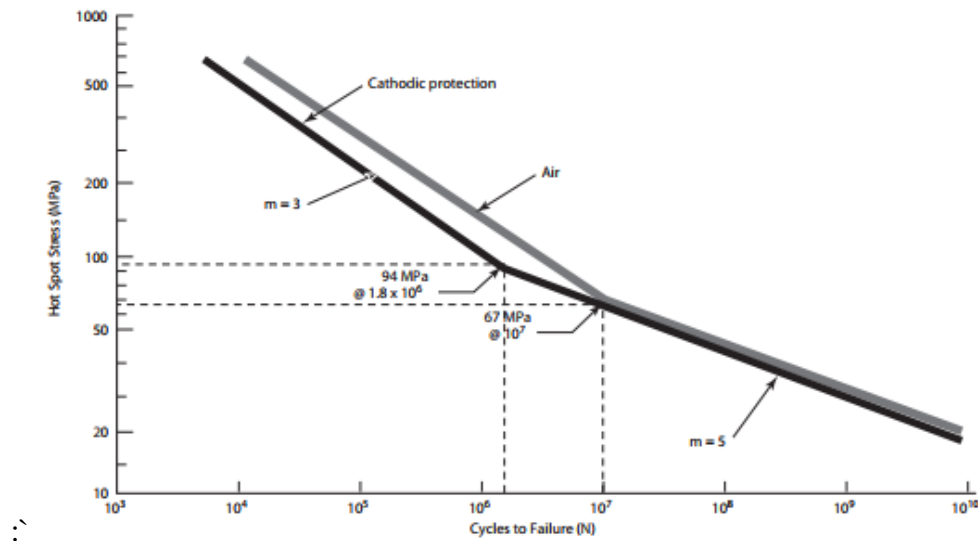
Dengan:

N : Jumlah siklus hingga terjadi kegagalan pada material

k_1 : Konstanta

S : Rentang tegangan

di mana konstanta dan parameter m akan bervariasi terhadap jumlah siklus yang terjadi. S-N Curve yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 2.7 Kurva S-N

(sumber: API RP 2A 22nd Edition, 2007)

2.2.7.5. Metode Palmgren-Miner

Pada tahun 1945, Palmgren dan Miner mengajukan suatu hipotesis untuk menentukan umur kelelahan struktur berdasarkan kerusakan (*cumulative damage*) yang terjadi pada struktur. Hipotesis ini kemudian dikenal dengan *Palmgren-Miner Method*. Secara garis besar dapat diwakilkan pada persamaan berikut,

$$D = \sum_{k=1}^n \frac{n_k}{N_k} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} \leq 1 \quad (2.5)$$

Dengan,

n : Jumlah kejadian gelombang yang menyebabkan rentangan tegangan

N : Jumlah siklus rentang tegangan sebelum terjadi kegagalan

Nilai N didapatkan dari *S-N Curve* untuk nilai tertentu. Apabila nilai n melebihi nilai N , maka dapat dipastikan umur struktur yang didesain tidak sesuai dengan yang diharapkan. Perlu diketahui bahwa nilai n dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$n_k = \frac{P_k \times T}{T_k} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 dapat dijelaskan dalam diskusi selanjutnya, P_t adalah peluang kejadian gelombang dengan tinggi dan periode (T_t). Misalkan kita akan merencanakan bangunan lepas pantai terpancang dengan umur T tahun. Maka, kita dapat mengetahui bahwa satu siklus gelombang terjadi dalam waktu satu periode T_t . Apabila dikalikan peluang kejadian gelombang dengan umur T , maka dapat diperoleh berapa persen dari umur tersebut, serta gelombang dengan periode dapat terjadi. Dengan membagi hasil perkalian peluang dan umur tersebut (T) dengan periode (T_t), maka kita dapatkan jumlah siklus gelombang (n_t) yang terjadi.

Jika persamaan 2.6 disubstitusikan ke persamaan 2.5, maka dapat diperoleh persamaan yang digunakan untuk menghitung *damage cumulative* yang terjadi. Persamaan tersebut dituliskan sebagai berikut,

$$D = \sum_{k=1}^n \frac{P_k \times T}{N_k \times T_k} = \frac{P_1 \times T}{N_1 \times T_1} + \frac{P_1 \times T}{N_1 \times T_1} + \dots + \frac{P_n \times T}{N_n \times T_n} = 1 \quad (2.8)$$

Kemudian, untuk menentukan umur lelahnya (T), persamaan di atas harus sama dengan 1, atau dengan mengelompokkan suku yang sama pada persamaan 2.13, kita dapat menuliskannya menjadi persamaan sebagai berikut,

$$T = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{P_i}{N_i \times T_i}} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan persamaan 2.8 di atas, maka dapat diperoleh umur kelelahan bangunan lepas pantai. Untuk mempermudah perhitungan ini, maka digunakan *software* SACS 5.7.

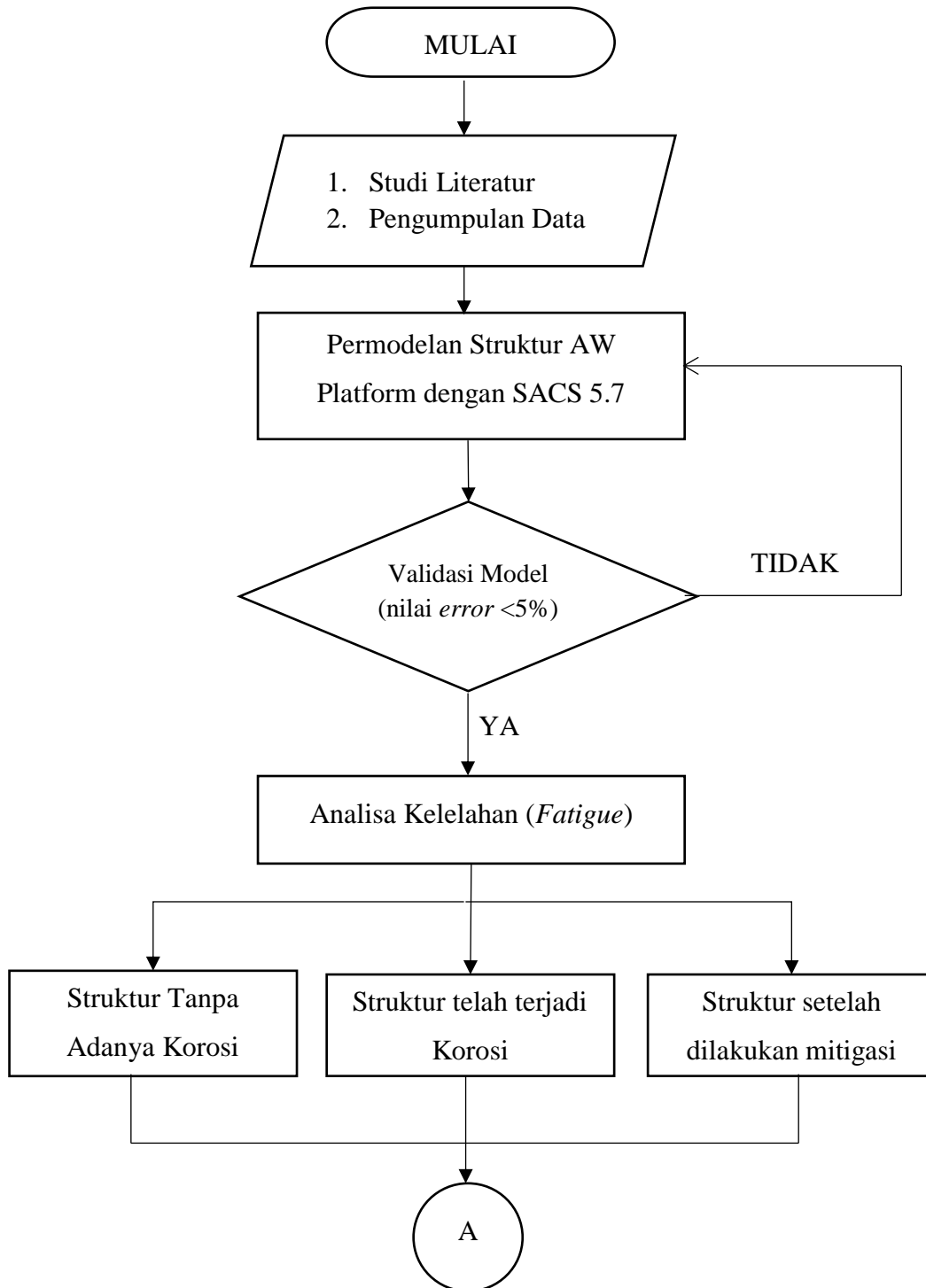
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

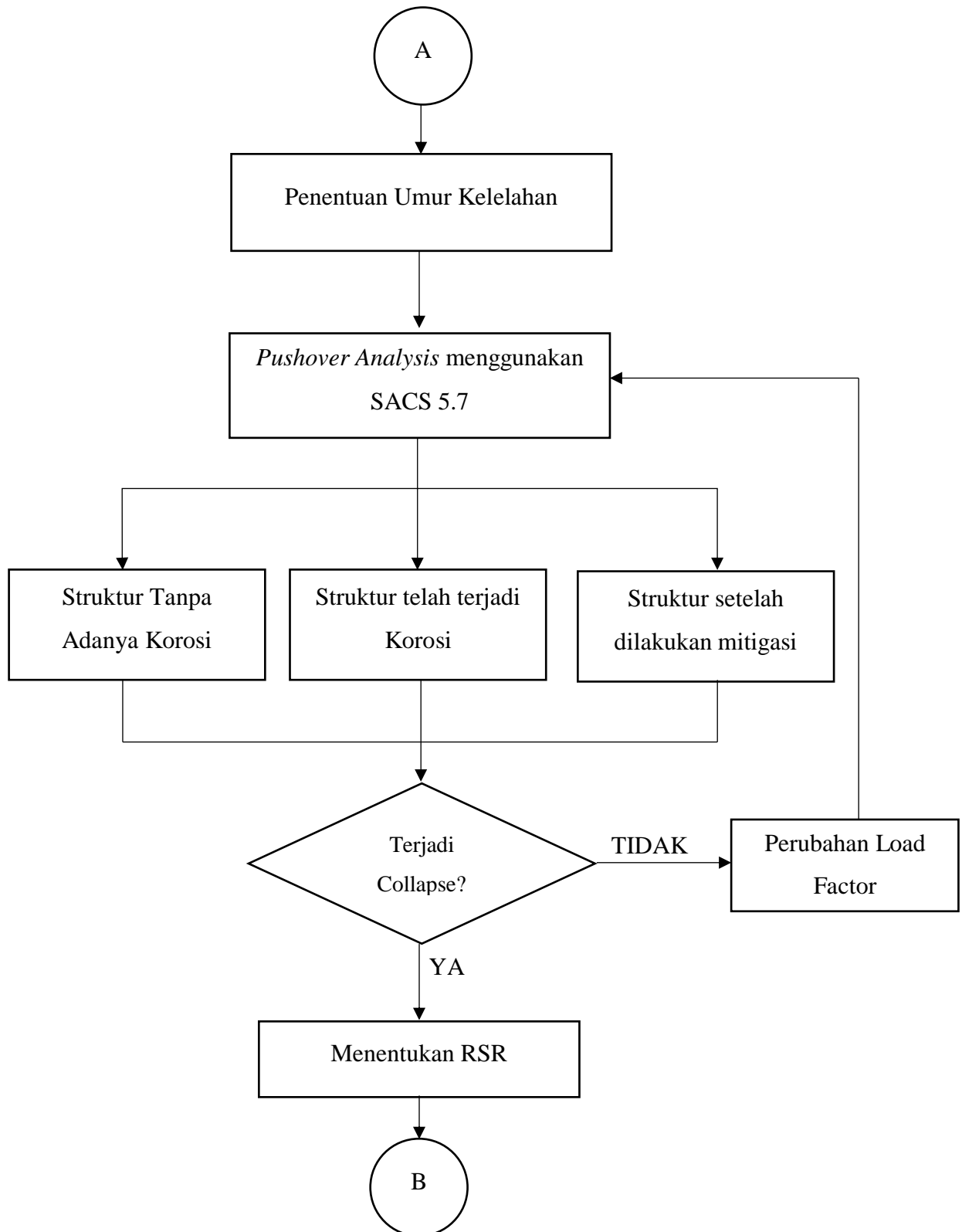
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir (*Flowchart*)

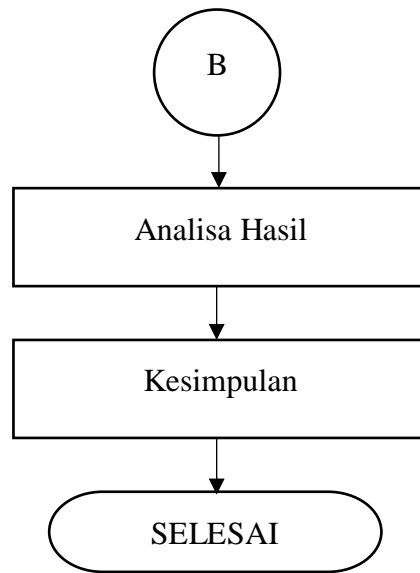
Metode penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah dari metodologi pengerjaan dari penelitian ini:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan data

Studi literatur pada tugas akhir ini diambil dari buku, materi perkuliahan, jurnal, dan penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu yang memiliki keterkaitan topik yang relevan. Kemudian, dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk mempermudah dan menambah akurasi dari penelitian ini. Data struktur tersebut berupa dimensi, material properties, dan berat struktur tersebut. Sedangkan, data lingkungan berupa tinggi, kecepatan, jumlah kejadian gelombang, dan kecepatan arus.

2. Permodelan Struktur software SACS 5.7

Dari data-data yang telah tersedia, geometri dari struktur dapat dimodelkan dengan software SACS 5.7. Kemudian, dilakukan validasi model dengan membandingkan berat struktur (*self weight*) itu sendiri dari permodelan yang dilakukan oleh penulis dan permodelan dari data yang diberikan oleh perusahaan. Hal ini bertujuan untuk membuktikan bahwa struktur yang dimodelkan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya.

3. Analisa Kelelahan (Fatigue)

Kemudian, dilakukan analisa kelelahan struktur AW platform dengan 4 macam permodelan pada struktur, yaitu struktur sebelum terjadinya korosi,

struktur saat terjadi korosi saat inspeksi, struktur yang telah diberikan mitigasi berupa *doubling plate*, dan struktur mengalami korosi 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi. Analisa kelelahan pada penelitian kali ini menggunakan metode Pilgrem-Miner. Hasil analisis *fatigue* adalah jangka waktu (tahun) dari struktur untuk menerima atau menahan beban dinamis yang bekerja di lingkungan.

4. Pushover Analysis

Setelah dilakukan mendapatkan umur kelelahan dari struktur, maka dapat dilakukan *pushover analysis* dengan bantuan *software* SACS 5.7. Pada tahap ini akan dilakukan permodelan struktur yang sama seperti pada analisa kekuatan. *Pushover analysis* pada struktur harus mengalami *collapse*, jika tidak maka harus dilakukan perubahan *load factor* sampai dengan struktur mengalami *collapse*. Output yang didapatkan dari analisa ini adalah *base shear* dan *displacement* dari struktur pada saat keadaan ekstrem.

5. Analisa Kekuatan Sisa

Dari nilai *base shear* yang didapatkan dari *pushover analysis*, maka nilai dari kekuatan sisa (*Reserve Strength Ratio*) dan *System Redundancy* (SR) dapat diketahui. Kemudian, dilakukan perbandingan nilai RSR dengan SR pada masing-masing permodelan.

6. Analisa Hasil

Setelah semua analisa dilakukan, dapat dilihat dan dianalisa bagaimana pengaruh korosi terhadap kekuatan struktur.

7. Kesimpulan

Tahap terakhir yang dilakukan adalah mengambil kesimpulan dari semua analisa hasil dan permodelan yang telah dilakukan. Kemudian, memberikan saran-saran agar dapat digunakan di penelitian berikutnya.

3.3. Pengumpulan Data

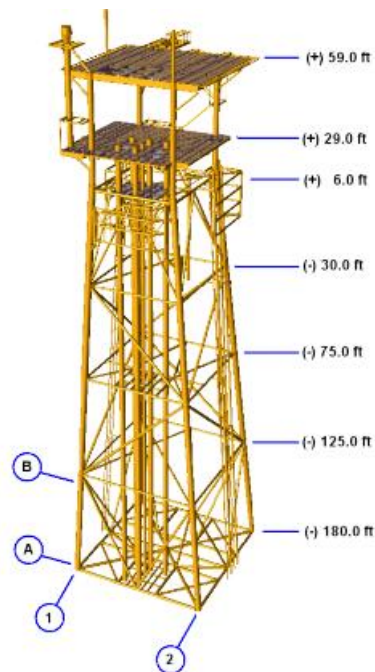
3.3.1. Data Struktur

Platform AW merupakan *jacket fixed platform* yang memiliki empat kaki dengan fungsi melakukan produksi minyak dan gas. Platform terletak di Madura bagian barat. Awalnya, struktur ini didirikan pada tahun 1977 dan hanya memiliki satu level

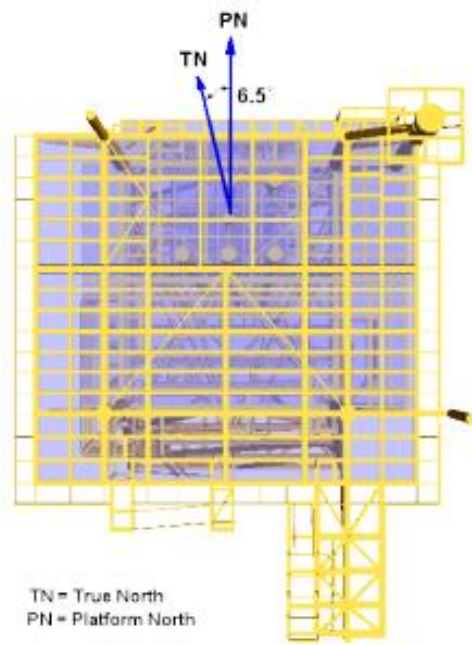
deck (cellar deck). Kemudian, dilakukan modifikasi penambahan deck sehingga platform ini memiliki 2 level deck, yaitu *main deck* dan *cellar deck*. Sampai saat ini platform telah beroperasi selama 35 tahun dan bertujuan untuk dilakukan *life extend* selama 12 tahun.



Gambar 3.4 AW Platform pada tahun 2010
(sumber: data proyek perusahaan)



Gambar 3.5 Elevasi pada AW Platform
(sumber: data proyek perusahaan)



Gambar 3.6 AW Platform tampak atas
(sumber: data proyek perusahaan)

Tabel 3.1 Data Lokasi Platform AW

LOCATION	
Latitude	6 ⁰ 39' 712,114.36" S
Longitude	112 ⁰ 49' 926,332.3" N
Water Depth	180 ft

Tabel 2.2 Deskripsi AW Platform

Geometry	4 Legged
Leg Diameter	34 inches
Top Level	EL. (+) 10'-0"
Bottom Level	EL. (-) 84'-0"
Number of Decks	2
Deck Leg Diameter	30 inches
Main Deck Elevation	at EL.(+) 59' -0
Cellar Deck Elevation	at EL.(+) 29' -0

3.3.2. Data Pembebanan

Berikut adalah data *equipment* dan perpipaan, serta pembebanan yang ada pada struktur:

Tabel 3.3 Data Equipment serta Pembebanannya pada Struktur

No.	Description	Weight (kips)
MAIN DECK		
1	PIG LAUNCHER	1.916
2	OIL BW RECEIVER	1.410
3	KE-23 RECEIVER	1.410
4	AW MP SEPARATOR	111.540
5	AW LP SPEARATOR	96.800
6	FLARE	22.400
7	GAS LIFT SEPARATOR	26.400
8	HP KE-23 SEPARATOR	47.300
9	HP KE-30 SEPARATOR	15.432
TOTAL		324.608
CELLAR DECK		
10	NEW ACCESS PLATFORM ABOVE	17.902
11	DRY CHEMICAL SKID	1.090
12	GAS TANK FOR CRANE	1.000
13	HYDROCYCLONE	17.164
14	INSTRUMENT SYSTEM	1.800
15	NEW EQUIPMENT ON EXTENSION DECK	26.248
16	PANEL LP-405	1.500
17	INHIBITOR SKID CORROSION	2.001
18	3-PHASE TEST SEPARATOR	25.743
19	INSTRUMENT GAS SCRUBBER	0.594
20	VERTICAL GAS FILTER	0.600
21	VERTICAL LP SEPARATOR	17.496

Tabel 3.4 Data Equipment serta Pembebanannya pada Struktur (lanjutan)

22	VERTICAL OIL DE-GASSER	9.991
23	X'MASS TREE (6)	12.000
TOTAL		135.129
24	PIPING LOADS	42.228
25	ROOM LOADS	2.000
26	CRANE	40.000
TOTAL		84.228
TOTAL LOADS		543.965

3.3.3. Data Lingkungan

3.3.3.1.Data Kedalaman

Data kedalaman perairan yang digunakan pada analisa dituliskan pada table berikut:

Tabel 3.5 Data Kedalaman Perairan

Description	1-Year Operating	100-Years Storm
Mean Sea Level (MSL)	180.0 ft	180.0 ft
Highest Astronomical Tide (HAT)	8.3 ft	8.5 ft
Maximum Water Depth	184.15 ft	184.25 ft
Minimum Water Depth	175.85 ft	175.75 ft

3.3.3.2.Data Angin

Beban angin yang mengenai bagian *topside*, *deck leg* dan *jacket leg* perlu dipertimbangkan dalam sebuah perencanaan dengan data seperti pada Tabel berikut:

Tabel 3.6 Kecepatan Angin saat Kondisi Operasi dan Badai

Description	1-Year Return Period	100-Years Return Period
1-hour wind	38.0 mph	56.0 mph

3.3.3.3.Data Arus

Data arus berupa data kecepatan arus berdasarkan kedalaman laut dengan data seperti pada Tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.7 Data Kecepatan Arus berdasarkan Kedalaman Perairan

Percent of Depth (%)	Current Speed (ft/sec)	
	1-year operating	100-years storm
0	3.50	4.5
10	3.3	4.2
20	3.1	3.9
30	2.9	3.6
40	2.7	3.3
50	2.4	2.9
60	2.2	2.6
70	2.0	2.3
80	1.8	2.0
90	1.5	1.6
100	0.8	0.8

3.3.3.4.Data Gelombang

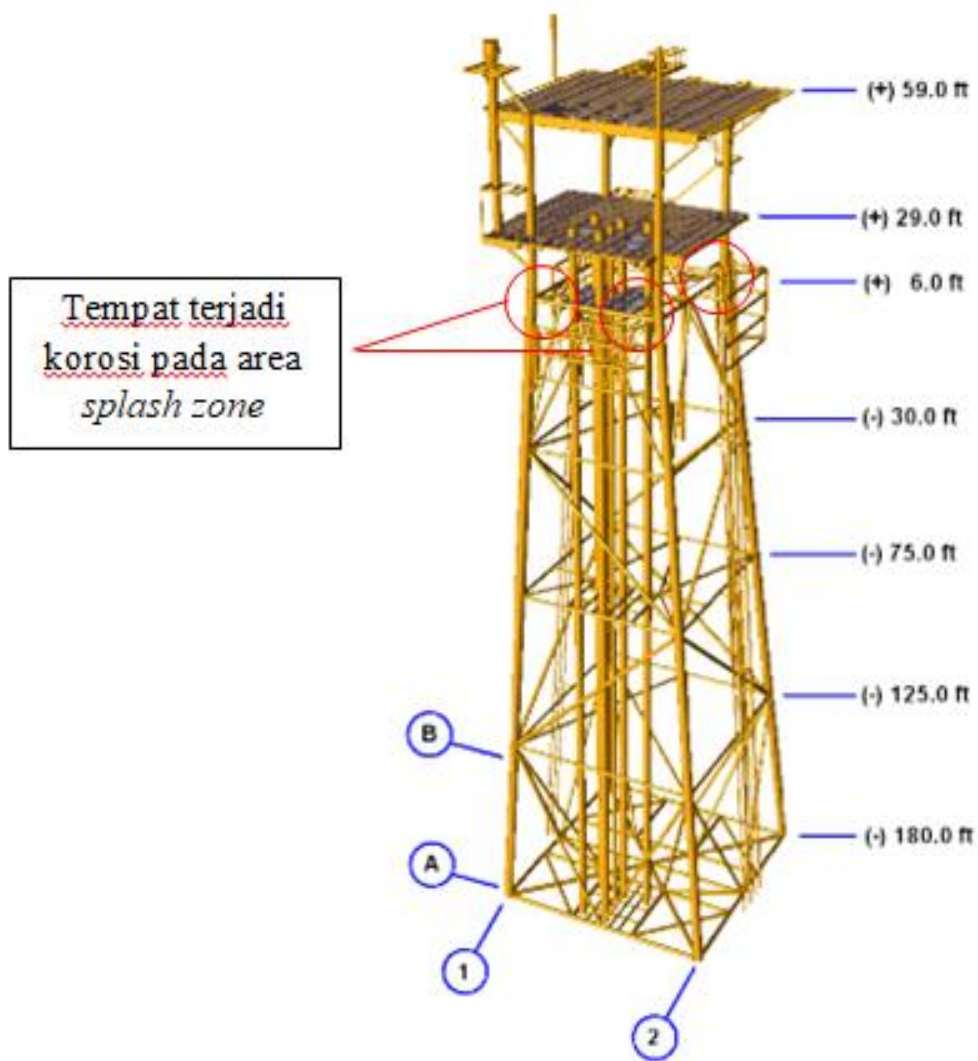
Beban gelombang yang mengenai struktur baik pada kondisi operasi maupun badai adalah seperti pada tabel 3.6 berikut:

Tabel 3.8 Data Gelombang

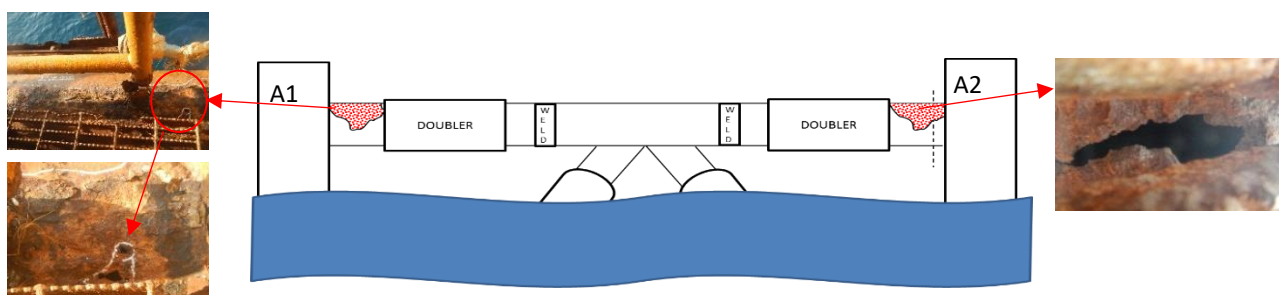
Description	1-Year Return Period	100-Years Return Period
Height of Maximum Wave	17.00 ft.	30.00 ft.
Period of Maximum Wave	7.20 sec.	10.00 sec.

3.3.4. Data Inspeksi

Metode inspeksi yang dilakukan adalah *visual inspection* dan *measurement* ketebalan dari kaki jacket. Dari inspeksi yang dilakukan ditemukan adanya beberapa korosi yang terjadi pada area *splash zone* seperti gambar berikut,

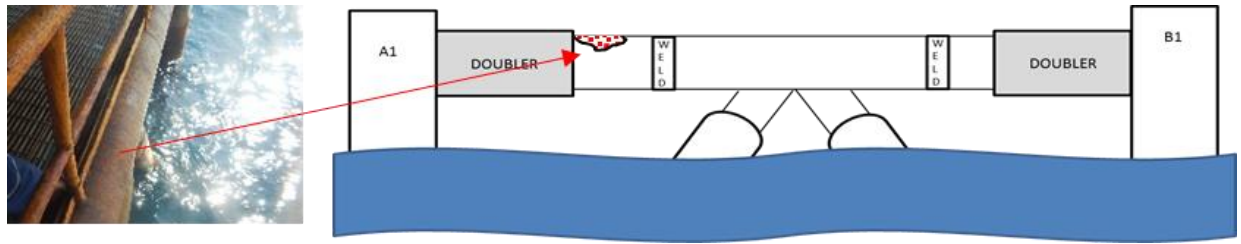


Gambar 3.7 Letak Korosi yang Terjadi pada area *splash zone*

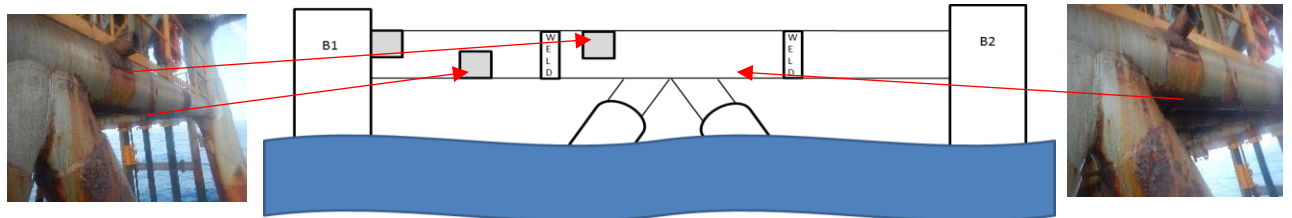


Gambar 3.8 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing A1-A2

(sumber: data proyek perusahaan)



Gambar 3.9 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing A1-B1
(sumber: data proyek perusahaan)

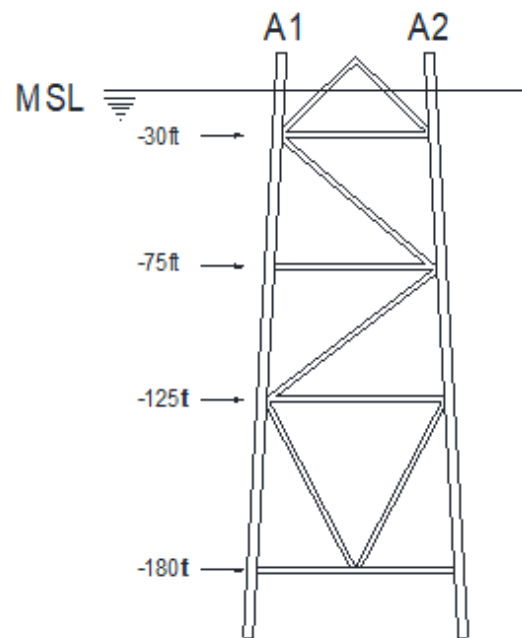


Gambar 3.10 Letak Korosi yang Terjadi pada Bracing B1-B2
(sumber: data proyek perusahaan)

Tabel 3.3 Data Korosi pada Struktur

Location of Corrosion	Size	Description
Horizontal Brace A1-A2	100 mm x 280 mm	<ul style="list-style-type: none"> External corroded (hole) Minimum thickness 0 mm
	800 mm x 400 mm	<ul style="list-style-type: none"> External corroded Minimum thickness 0 mm
Horizontal Brace A1-B2	-	<ul style="list-style-type: none"> Fair external corrosion 16'-6" mm from B1
	-	<ul style="list-style-type: none"> Fair external corrosion 20'-3" mm from B1
	-	<ul style="list-style-type: none"> Fair external corrosion 26'-8" mm from B2
Horizontal Brace A1-B1	600 mm x 240 mm	<ul style="list-style-type: none"> External corroded Minimum thickness 3.27 mm 1160 mm from A1

Sedangkan pada area di bawah air (*underwater*) dilakukan inspeksi *wall thickness*. Area di bawah air ini digambarkan pada gambar berikut,



Gambar 3.11 *Underwater Area* pada AW Platform

Dari inspeksi tersebut didapatkan hasil *wall thickness* pada setiap *member* dituliskan seperti berikut,

Tabel 3.11 Hasil Inspeksi *Wall Thickness Underwater Area*
(sumber: data proyek perusahaan)

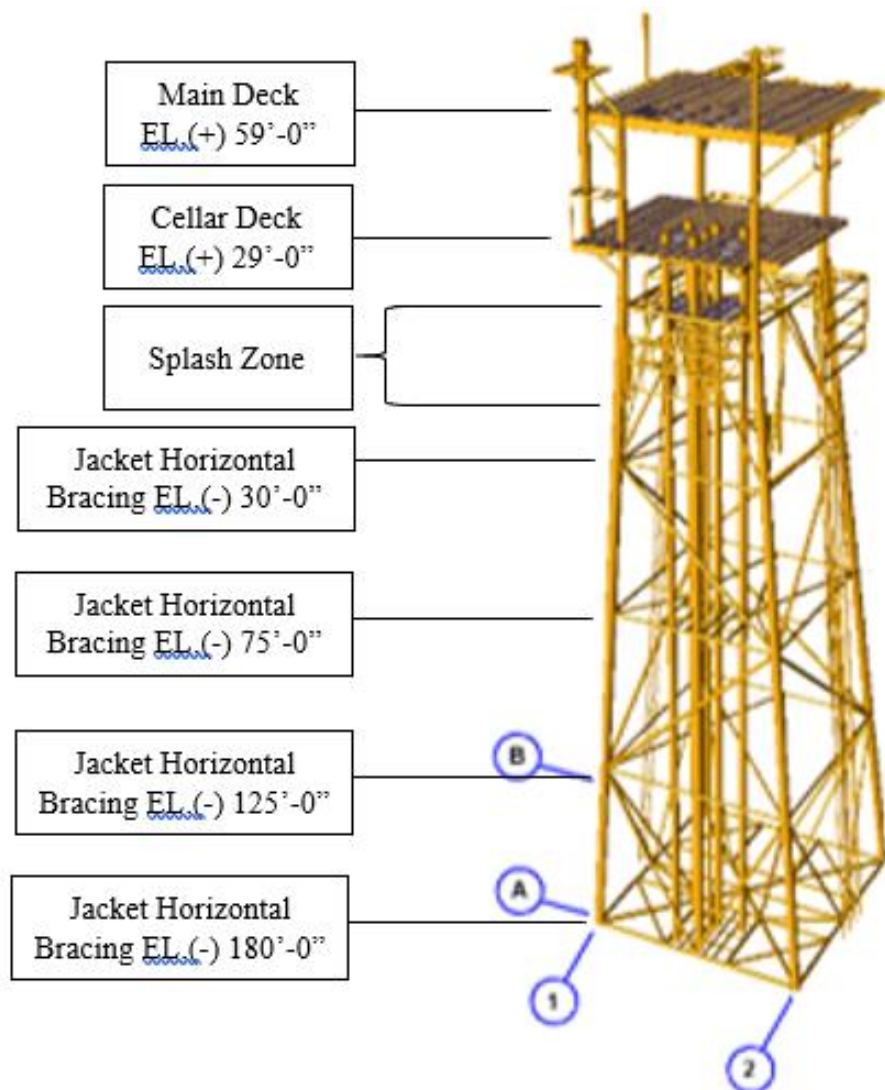
Elevation (-) Feet	Thickness Reading (millimeters)
Mean Sea Level	25.6
15	25.5
30	25.6
50	12.8
75	25.4
100	13.0
125	25.5
155	12.6
180	24.9

BAB IV

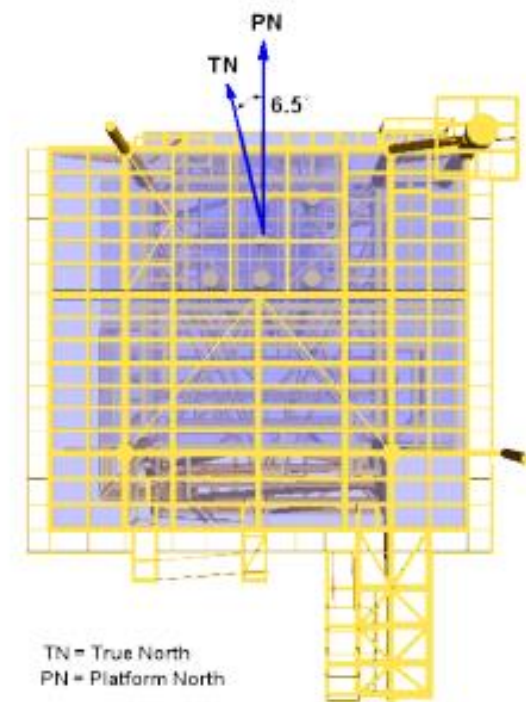
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Permodelan Struktur

Struktur AW Platform dimodelkan menggunakan software *SACS 5.7*. Struktur dimodelkan dengan 4 kaki, 2 deck, dan pembebanan *equipment* yang ada pada platform. Berikut adalah struktur AW Platform yang dimodelkan dengan bantuan *SACS 5.7*:



Gambar 4.1 *Isometric View of AW Platform*



Gambar 4.2 AW Platform tampak atas

4.2. Validasi Permodelan

Validasi model struktur dilakukan untuk memeriksa kesesuaian antara pemodelan struktur dengan kondisi struktur asli di lapangan. Verifikasi yang dilakukan berupa komparasi output pemodelan struktur yang dimodelkan sendiri dengan output pemodelan struktur yang dilakukan perusahaan yang sudah tersaji dalam bentuk report. Hasil dari validasi model memaparkan perbedaan atau selisih *error* dari beberapa parameter yang ditinjau antara lain nilai *selfweight* dan periode natural antara struktur aslinya dengan hasil pemodelan struktur. Hasil komparasi *selfweight* model dengan *selfweight report* dicantumkan dalam Tabel berikut.

Tabel 4.1 Validasi Beban Struktur (*Selfweight*)

Keterangan	Permodelan	Report	Error (%)
<i>Selfweight</i> (kips)	3487,982	3543,965	-1,605

Berdasarkan Tabel di atas diperoleh koreksi berat struktur (*selfweight*) tidak melebihi 5%, maka model dapat dinyatakan *valid* dan sudah mewakili struktur sesungguhnya. Koreksi diperoleh dengan menghitung selisih antara berat model dan berat data yang dibandingkan dengan berat data.

4.3. Analisa *Inplace*

Analisis *Inplace* merupakan suatu analisa yang dilakukan untuk memastikan dan menentukan kondisi dari setiap *member* (*chord* dan *brace*) pada setiap pembebanan yang diterima di lokasi struktur tersebut diinstal. Analisis *inplace* dilakukan dengan mengkombinasikan seluruh beban yang ditopang struktur pada saat kondisi operasi dan dilakukan terhadap 8 arah pembebanan, yaitu pada arah arah 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 , 225^0 , 270^0 , dan 315^0 .

Analisis ini dilakukan dengan bantuan *software* SACS 5.7 untuk mengetahui apakah struktur yang dimodelkan dengan software cukup kuat dan mampu untuk menahan beban-beban yang bekerja pada struktur. Output dari permodelan ini adalah nilai UC (*unity check*) dari seluruh *member* yang terdapat dalam struktur. *Member* dinyatakan aman apabila $UC \leq 1$, *unity check* merupakan parameter kekuatan struktur yang diperoleh berdasarkan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diijinkan. Berikut hasil dari analisa statis pada model struktur.

Tabel 4.2 *Maximum Member Unity Check*

LOCATION	MAXIMUM MEMBER STRESS UNITY CHECK		
	MEMBER (GROUP)	UC	LOAD COMB
Main Deck	3210-805 (MD1)	0.6	105
	3310-807 (MD1)	0.48	103
	809-3902 (MD2)	0.53	108
	3209-3509 (MD3)	0.47	107
Cellar Deck	4028-402G (CD3)	0.92	106
Deck Leg	605-615 (DL0)	0.68	103
Jacket Leg	505-605 (LG6)	0.54	103
Jacket Bracing	207-305 (DG2)	0.55	101

4.4. Periode Natural

Periode natural struktur merupakan komponen alami struktur tanpa ada pengaruh gaya dari luar, sehingga faktor mempengaruhi hanya masa struktur sendiri dan kekakuan dari struktur. Kuantitas ini dapat diketahui dengan melakukan analisa inplace, dimana periode natural ini akan digunakan saat melakukan analisa kelelahan pada struktur. Periode natural dihitung menggunakan software SACS dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pembuatan File Super Element

Dengan menggunakan model *finite element* (FEM) yang digunakan untuk analisis statis, ditambahkan beban gelombang pada arah x dan y. Tahap ini bertujuan untuk membuat kekakuan linear yang ekuivalen pada *pile* apabila struktur diberikan beban gelombang pada arah x dan y. Output dari tahap ini adalah kekakuan-kekakuan linear dan torsional pada struktur untuk dikombinasikan pada analisis dinamis selanjutnya.

2. Analisa Dinamis

Analisis dinamis yang dilakukan dengan membentuk persamaan gerak struktur untuk selanjutnya dilakukan perhitungan frekuensi natural dan modus getar pada *mode* tertentu. Tahap ini dilakukan dengan memasukkan input dinamis pada permodelan super element pada struktur. *Output* dari tahapan ini adalah nilai frekuensi natural dan matriks modus getarnya.

Struktur dianalisa saat kondisi awal, yaitu sebelum terjadi korosi sebagai pembanding dengan analisa kondisi lainnya. Kemudian, struktur dianalisa saat inspeksi dilakukan, mitigasi yang dilakukan setelah dilakukan inspeksi, dan 3 tahun setelah dilakukan inspeksi dengan laju korosi 0,45 mm/tahun. Berikut hasil analisa mengenai periode natural struktur dari seluruh analisa:

Tabel 4.3 Periode Natural Struktur pada Kondisi Awal

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.884	1.414
2	0.847	1.298
3	1.517	1.062
4	1.265	0.836
5	2.119	0.781

Tabel 4.4 Periode Natural Struktur pada Kondisi Awal (lanjutan)

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
6	2.787	0.593
7	2.856	0.558
8	2.882	0.324
9	2.972	0.311
10	3.048	0.309

Tabel 4.5 Periode Natural Struktur pada Kondisi Inspeksi

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.876	1.660
2	0.833	1.545
3	1.681	1.437
4	1.358	0.924
5	2.415	0.797
6	2.797	0.670
7	2.848	0.563
8	2.85	0.462
9	3.017	0.345
10	3.036	0.329

Tabel 4.6 Periode Natural Struktur setelah Mitigasi

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.824	1.559
2	0.842	1.434
3	1.517	1.136
4	2.427	0.623
5	2.482	0.496
6	2.799	0.369
7	2.856	0.262
8	2.882	0.161
9	2.972	0.144
10	3.048	0.128

Tabel 4.7 Periode Natural Struktur 1 tahun setelah inspeksi
tanpa dilakukan mitigasi

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.824	1.673
2	0.842	1.568
3	1.517	1.430
4	2.427	0.947
5	2.482	0.820
6	2.799	0.693
7	2.856	0.586
8	2.882	0.485
9	2.972	0.368
10	3.048	0.352

Tabel 4.8 Periode Natural Struktur 2 tahun setelah inspeksi
tanpa dilakukan mitigasi

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.865	1.681
2	0.830	1.573
3	1.349	1.435
4	1.427	0.952
5	2.819	0.825
6	2.899	0.698
7	2.856	0.591
8	2.882	0.490
9	2.972	0.373
10	3.048	0.357

Tabel 4.9 Periode Natural Struktur 3 tahun setelah inspeksi
tanpa dilakukan mitigasi

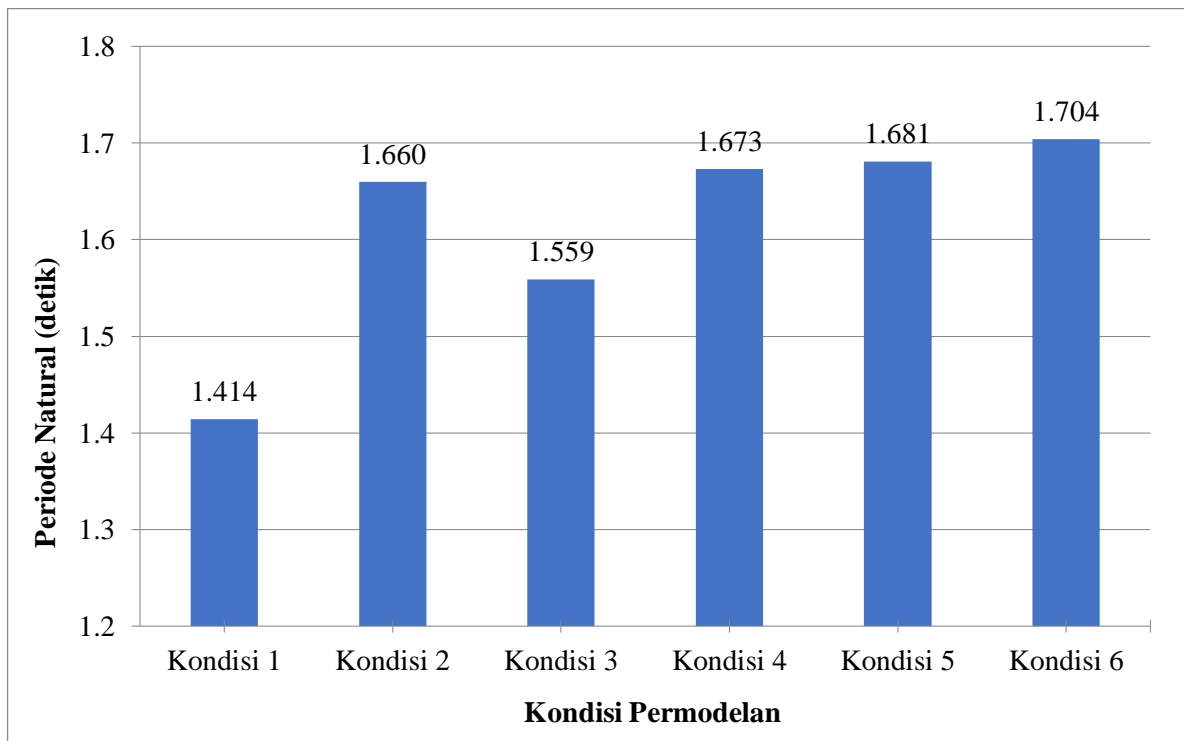
Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
1	0.792	1.704
2	0.812	1.585
3	1.485	1.477
4	2.395	0.964
5	2.45	0.837
6	2.767	0.710

Tabel 4.10 Periode Natural Struktur 3 tahun setelah inspeksi
tanpa dilakukan mitigasi (lanjutan)

Mode	Freq (CPS)	Period (Sec)
7	2.824	0.603
8	2.850	0.502
9	2.940	0.385
10	3.016	0.369

4.4.1. Analisa Hasil Periode Natural

Pada penelitian kali ini permodelan dilakukan pada saat kondisi sebelum terjadi korosi, setelah terjadi korosi sesuai data inspeksi, terjadi degradasi *wall thickness* pada tahun pertama, kedua, dan ketiga setelah dilakukan inspeksi, serta saat dilakukan mitigasi (*doubling plate*) pada struktur yang mengalami korosi. Dari hasil analisa tersebut, didapatkan perbandingan nilai periode natural seperti tabel berikut.



Gambar 4.3 Grafik Periode Natural pada setiap kondisi

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Periode Natural Struktur

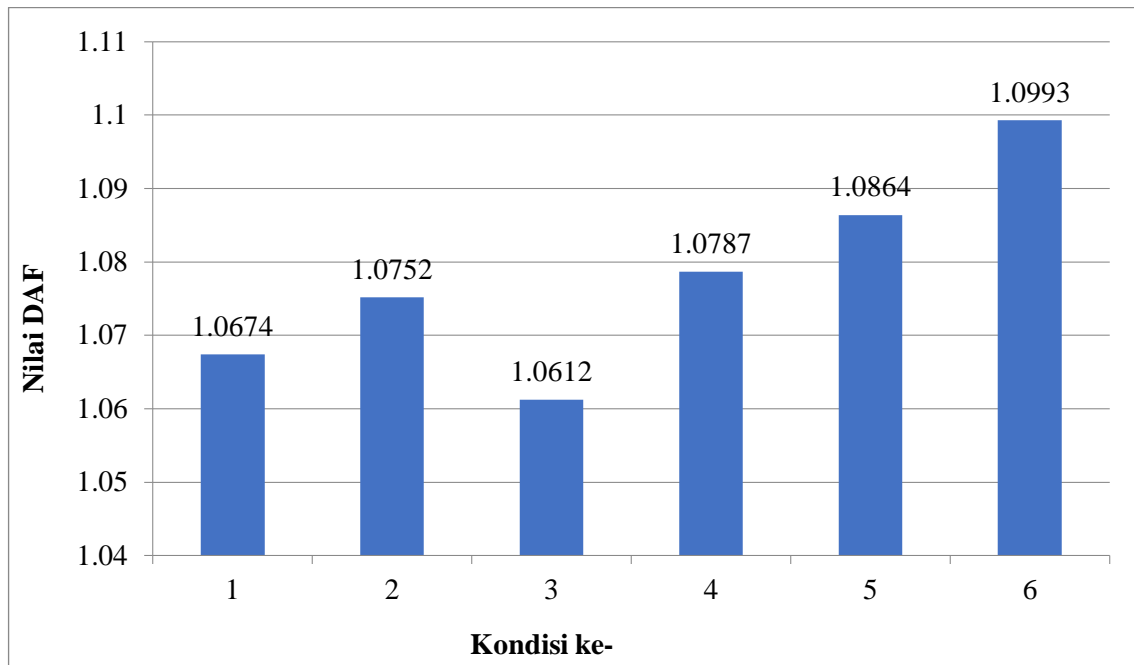
Kondisi Struktur	Keterangan	Periode Natural (detik)
Kondisi 1	Kondisi Awal Struktur	1.414
Kondisi 2	Kondisi Inspeksi	1.660
Kondisi 3	Kondisi Mitigasi	1.559
Kondisi 4	Kondisi 1 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.673
Kondisi 5	Kondisi 2 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.681
Kondisi 6	Kondisi 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.704

4.5. *Dynamic Amplification Factor*

Perhitungan DAF selain berguna untuk faktor akan digunakan pada analisa statis juga untuk memprediksi respon gerak struktur maksimum yang akan terjadi, beban dinamis jauh lebih berdampak signifikan, sehingga DAF bisa mewakili untuk memprediksi respon maksimum yang akan terjadi. Asumsi nilai damping sebesar 5% untuk analisa respon gerak jacket fixed platform apabila nilai damping structure tidak diketahui, begitu pula dalam penelitian ini. Nilai dari DAF tertinggi pada tiap-tiap kondisi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.12 Nilai DAF pada Struktur

Kondisi Struktur	Keterangan	Nilai DAF
Kondisi 1	Kondisi Awal Struktur	1.0614
Kondisi 2	Kondisi Inspeksi	1.0752
Kondisi 3	Kondisi mitigasi	1.0705
Kondisi 4	Kondisi 1 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.0787
Kondisi 5	Kondisi 2 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.0864
Kondisi 6	Kondisi 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	1.0993



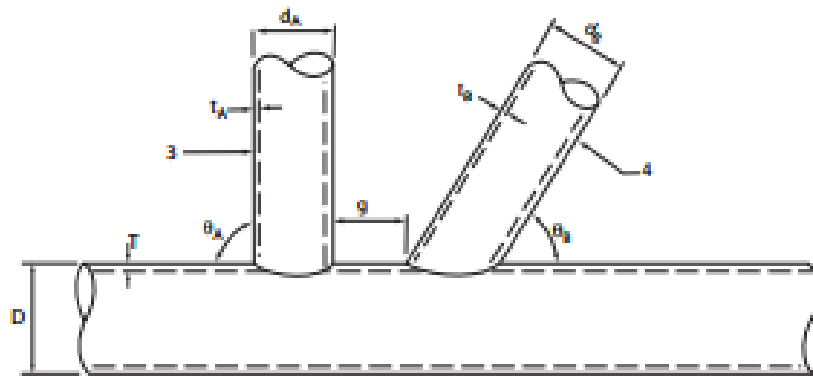
Gambar 4.4 Grafik DAF pada setiap kondisi

4.6. *Stress Concentration Factor*

Metode yang digunakan untuk mendapatkan faktor konsentrasi tegangan pada tugas akhir ini adalah Metode Efthymiou. Validitas range yang harus dipenuhi dalam metode Efthymiou adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 *Validity Range* Persamaan Efthymiou

Keterangan	Persamaan	Rentang Batasan
Rasio Diameter	$\beta = d/D$	$0,2 \leq \beta \leq 1$
Rasio Ketebalan	$\tau = t/T$	$0,2 \leq \tau \leq 1$
Rasio Kelangsingan <i>Chord</i>	$\gamma = D/2T$	$8 \leq \gamma \leq 0,32$
Rasio Gap dan Diameter	$\zeta = g/D$	$0,04 \leq \zeta \leq 0,2$
Rasio Panjang dan Diameter	$\alpha = 2L/D$	$4 \leq \alpha \leq 40$
Sudut Orientasi	-	$20^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$



Gambar 4.3 Contoh *joint* pada struktur
(sumber: PI RP 2A 22nd Edition, 2007)

Dengan,

d : diameter *brace*

D : diameter *chord*

t : ketebalan *brace*

T : ketebalan *chord*

L : panjang *chord*

g : gap

Sedangkan, perhitungan parameter tubular joint dilakukan pada joint paling kritis, dan dilakukan pada masing-masing kondisi. Sehingga, dari permodelan yang dilakukan didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.14 Data pada tubular *joint* kritis

Parameter	Hasil	
	Inch	Meter
L	984	10.774
D	36	0.9144
d	30	0.7612
T	0.875	0.022225
t	0.5	0.0127
g	2	0.0508

Berdasarkan data pada table 23, maka dapat ditentukan nilai parameter-parameter tubular *joint* yang dibutuhkan. Dari perhitungan tersebut didapatkan parameter sebagai berikut:

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Parameter

Parameter	Rentang Batasan	Hasil	Keterangan
β	$0,2 \leq \beta \leq 1$	0.83	Memenuhi
τ	$0,2 \leq \tau \leq 1$	0.62	Memenuhi
γ	$8 \leq \gamma \leq 0,32$	20.57	Memenuhi
ζ	$0,04 \leq \zeta \leq 0,2$	0.06	Memenuhi
α	$4 \leq \alpha \leq 40$	28.03	Memenuhi
θ	$20^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	45°	Memenuhi

Dari perhitungan table 24 dapat dilihat bahwa semua parameter dari metode ini memenuhi parameter. Sehingga, persamaan yang digunakan untuk perhitungan SCF menggunakan metode Efthymiou.

4.7. S-N Curve

Untuk mengetahui karakteristik kelelahan dari struktur perlu ditinjau dengan adanya kurva S-N. Kurva S-N adalah grafik karakteristik kelelahan yang umum digunakan dari suatu bahan atau material yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen pada material baja yang diberi beban secara berulang dengan jumlah siklus (N) sampai terjadi kegagalan. Besarnya N berbanding terbalik dengan rentang tegangan (S). Kurva ini menyediakan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Berdasarkan API RP 2A WSD tahun 2007, kurva S-N dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log}_{10}(N) = \text{Log}_{10}(k_1) - m \text{Log}_{10}(S) \quad (2.4)$$

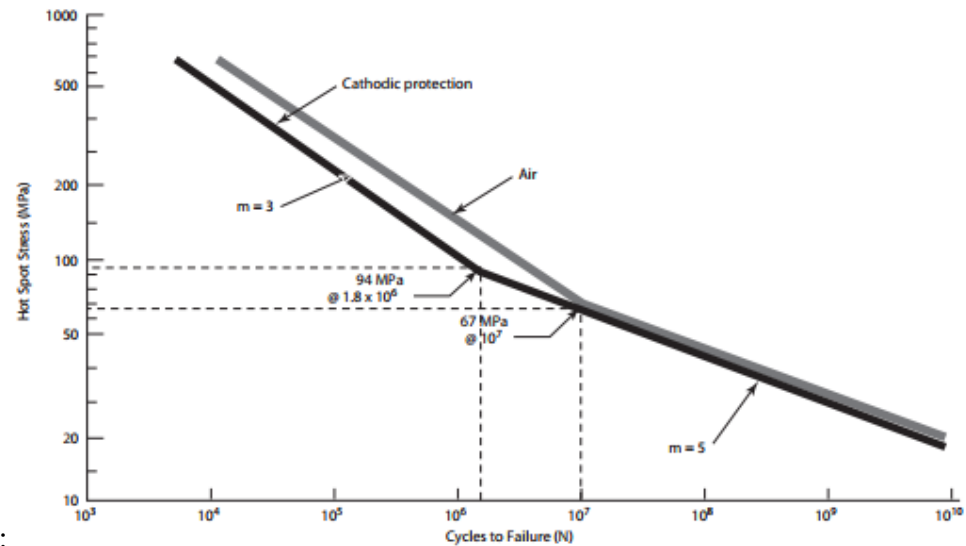
Dengan:

N : Jumlah siklus hingga terjadi kegagalan pada material

k_1 : konstanta

S : Rentang tegangan

di mana konstanta dan parameter m akan bervariasi terhadap jumlah siklus yang terjadi. S-N Curve yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 4.5 Kurva S-N

(sumber: API RP 2A 22nd Edition, 2007)

4.8. Analisa Kelelahan

Umur kelelahan struktur dihitung dengan menggunakan hipotesis Pilgrem Miner, yang menyatakan bahwa total penjumlahan damage karena gelombang yang terjadi n kali adalah harus kurang daripada 1. Pada tahapan ini, tentu kita memerlukan hasil perhitungan gaya gelombang dan rentang tegangan yang telah dihitung pada tahap sebelumnya, diperlukan pula input jumlah kejadian gelombang berdasarkan data, lalu Dynamic Amplification Factor (DAF) berdasarkan periode gelombang, S-N Curve yang digunakan, dan Stress Concentration Factor (SCF). S-N Curve yang digunakan adalah WJT atau Standard Welded Tubular Joint yang disarankan oleh API RP 2A, sementara SCF yang digunakan adalah formulasi dari Efthymiou seperti yang disarankan oleh API RP 2A.

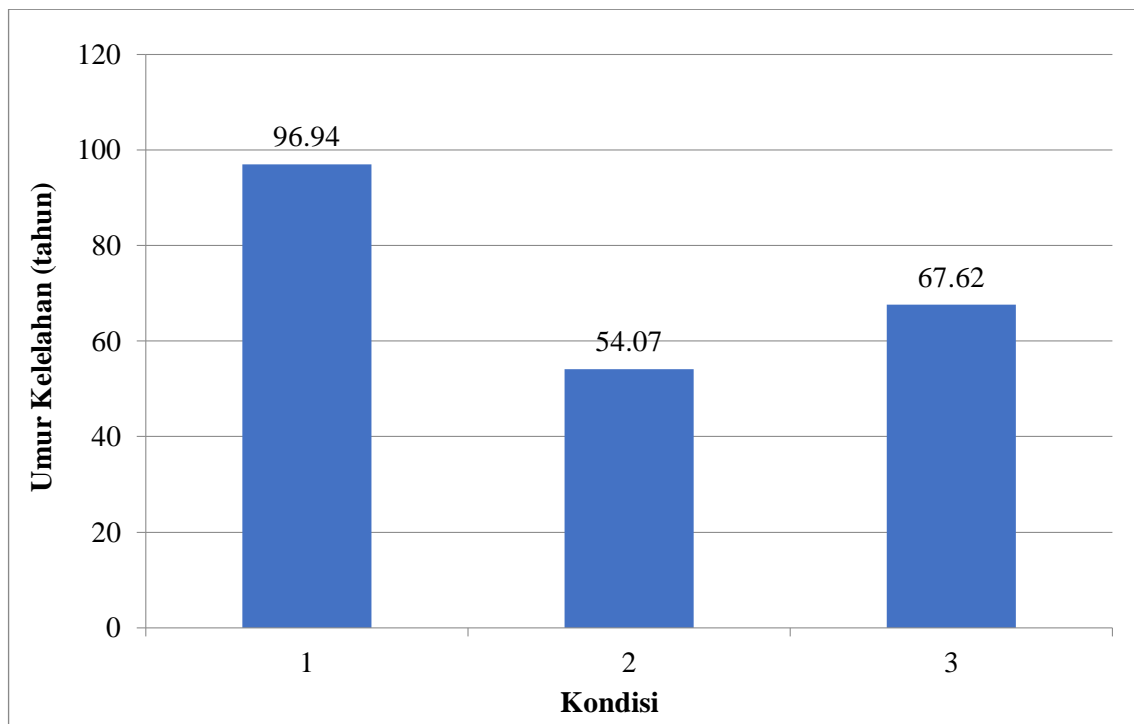
Dengan rentang tegangan yang dihasilkan dari tahap sebelumnya, serta sudah dikalikan dengan DAF dan SCF, SACS menghitung jumlah rentangan tegangan yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya dan disesuaikan dengan S-N Curve. Selanjutnya, komponen *damage* dapat dihitung per gelombang dengan menggunakan periode. API RP 2A menyarankan safety factor yang digunakan untuk umur lelah struktur adalah sebesar 2.0, artinya struktur diharapkan memiliki umur lelah 2 kali lebih besar daripada umur operasi yang diinginkan. Output dari tahap ini adalah umur lelah (*service life*) yang ada pada *joint-joint*.

4.8.1. Hasil Analisa Kelelahan

Output dari analisa kelelahan adalah umur operasi dari struktur (*service life*) yang ada pada masing-masing *joint*. Standar API RP 2A menyarankan untuk penggunaan safety factor untuk umur lelah struktur sebesar 2.0, artinya struktur diharapkan memiliki umur lelah 2 kali lebih besar daripada umur operasi yang diinginkan. Berikut perbandingan umur kelelahan dari struktur bangunan lepas pantai tersebut:

Tabel 4.16 Hasil Umur Kelelahan dari Struktur
pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi

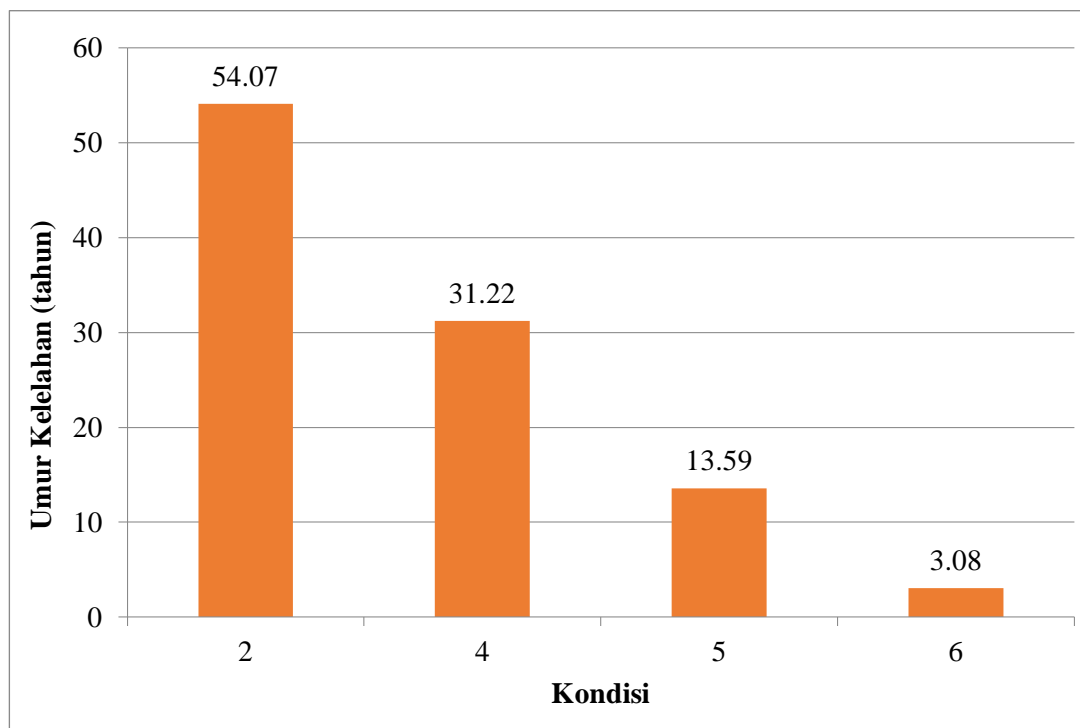
Kondisi Struktur	Keterangan	<i>Service Life</i> (tahun)	Selisih <i>Service Life</i> (%)
1	Kondisi Awal Struktur	96.94	0%
2	Kondisi Inspeksi	54.07	44.22%
3	Kondisi mitigasi	67.62	-25.06%



Gambar 4.6 Hasil Umur Kelelahan dari Struktur pada
kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi

Tabel 4.17 Hasil Umur Kelelahan dari Struktur pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi

Kondisi Struktur	Keterangan	<i>Service Life</i> (tahun)	Selisih <i>Service Life</i> Life (%)
2	Kondisi Inspeksi	54.07	20.04%
4	Kondisi 1 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	31.22	42.26%
5	Kondisi 2 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	13.59	56.47%
6	Kondisi 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	3.08	77.34%



Gambar 4.7 Selisih Umur Kelelahan dari Struktur pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi

Dari gambar di atas dapat dilihat pengaruh korosi terhadap umur kelelahan dari struktur. Berikut adalah hasil analisa kelelahan pada 6 kondisi yang telah dimodelkan:

1. Umur kelelahan struktur saat dilakukan inspeksi mengalami selisih umur kelelahan sebanyak 44,22% dari umur kelelahan pada kondisi awal. Sedangkan, pada kondisi mitigasi umur kelelahan mengalami kenaikan sebanyak 25,06%.
2. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa setiap tahunnya struktur mengalami selisih umur kelelahan dibandingkan dengan sebelumnya. Pada 1 tahun setelah inspeksi terjadi selisih sebanyak 42,26%, pada tahun ke-2 setelah inspeksi diperoleh selisih umur kelelahan sebesar 56,47%, sedangkan pada tahun ke-3 setelah inspeksi terjadi selisih sebesar 77,34%

4.9. Pushover Analysis

Pushover Analysis merupakan permodelan pada struktur dengan melakukan beban berulang. Pada umumnya, analisa ini dilakukan pada kurun waktu yang cukup lama seperti 100 tahunan. Pada analisa ini beban lateral atau lingkungan terus dinaikkan secara bertahap hingga struktur mengalami *collapse*. Hal ini bertujuan untuk melihat integritas struktur terhadap pembebanan berulang.

4.9.1. Analisa Kekuatan Sisa

Setelah dilakukan *pushover analysis*, maka diketahui nilai dari kapasitas maksimum struktur mengalami pembebanan atau dapat disebut *base shear*. Dari hasil tersebut nilai dari kekuatan sisa dapat dihitung. Berikut adalah persamaan untuk mengetahui nilai kekuatan sisa (*Reserve Strength Ratio*):

$$\text{Reserve Strength Ratio} = \frac{\text{Ultimate Platform Resistance}}{\text{Design Load}} \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut, maka didapatkan nilai dari *Reserve Strength Ratio* (RSR) sebagai berikut:

Tabel 4.18 Hasil RSR kondisi awal

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	381	1226.12	3170.33	4228.35	3.349
45	298	1307.1	2765.31	4930.43	3.772

Tabel 4.19 Hasil RSR kondisi awal (lanjutan)

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
90	392	1208.02	2513.48	4743.6	3.927
135	423	1153.08	2791.01	4119.57	3.573
180	421	1003.36	3848.86	4022.3	4.009
225	378	1163.33	2892.99	4111.59	3.534
270	345	1344.25	3854.31	4972.2	3.699
315	363	1294.73	4846.88	5183.14	4.003

Tabel 4.20 Hasil RSR saat Inspeksi

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	384	1153.71	3698.41	4106.44	3.156
45	301	1011.1	3674.66	4022.51	3.678
90	390	1163.27	3749.53	4176.24	3.590
135	421	1003.15	3845.4	3987.50	3.405
180	425	123.28	3941.27	3798.76	3.721
225	382	1010.67	3429.93	3621.34	3.503
270	349	1179.36	3776.6	4199.74	3.561
315	367	1158.78	4564.85	4642.34	3.896

Tabel 4.21 Hasil RSR setelah Dilakukan Mitigasi

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	429	1142.94	4057.61	4205.59	3.315
45	386	1046.7	3879.21	4090.67	3.701
90	353	1027.03	3677.91	3989.16	3.613
135	371	1144.5	4013.87	4218.96	3.436
180	429	1109.87	3998.17	4098.79	3.725
225	304	1124.79	4007.69	4230.87	3.513
270	388	1039.51	3997.93	4198.03	3.662
315	419	1198.1	4087.92	4426.12	3.930

Tabel 4.22 Hasil RSR 1 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	393	1127.04	3485.62	3561.42	3.074
45	310	972.51	2477.74	3552.35	3.596
90	384	1098.6	3359.91	3537.08	3.508
135	415	942.6	3557.09	3760.81	3.893
180	437	876.39	3401.87	3514.58	3.639
225	394	956.34	3551.14	3702.15	3.501
270	361	1129.52	3779.03	3990.61	3.479
315	379	1106.71	4231.6	4429.71	3.814

Tabel 4.23 Hasil RSR 2 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	393	1127.04	3485.62	3561.42	3.042
45	310	972.51	2477.74	3552.35	3.553
90	384	1098.6	3359.91	3537.08	3.220
135	415	942.6	3557.09	3760.81	3.711
180	437	876.39	3401.87	3514.58	3.403
225	394	956.34	3551.14	3702.15	3.071
270	361	1129.52	3779.03	3990.61	3.243
315	379	1106.71	4231.6	4429.71	3.602

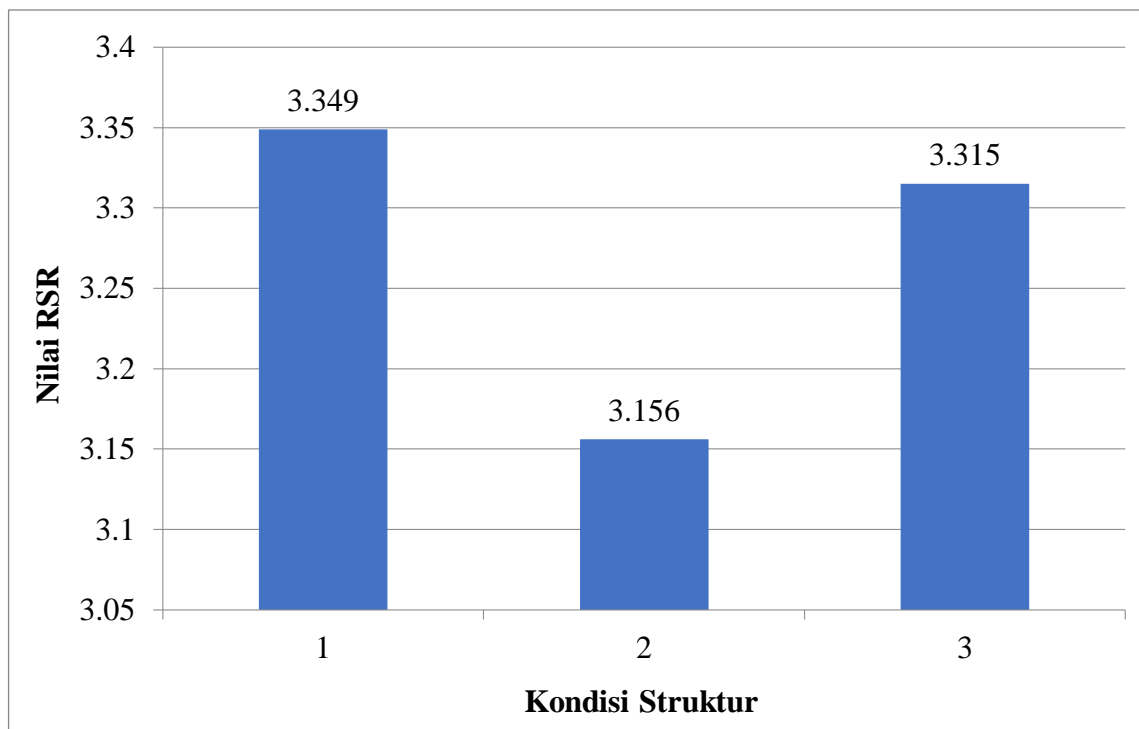
Tabel 4.24 Hasil RSR 3 Tahun Setelah Inspeksi tanpa mitigasi

Arah pembebanan	Load Step (saat struktur collapse)	Base Shear (Kips)			RSR
		Awal	1 member collapse	Struktur collapse	
0	396	1404.45	2864.74	3006.95	2.962
45	313	1114.93	2244.38	3288.43	3.137
90	382	1021.67	2287.19	2669.56	3.14
135	413	1069.58	3926.16	4070.09	3.631
180	441	1093.07	2547.08	3754.82	3.021
225	398	1055.83	4180.92	4244.7	3.791
270	365	1240.96	2476.62	2788.75	3.153
315	383	1248.09	2963.78	3794.22	3.522

Berdasarkan tabel-tabel diatas dapat dilihat bahwa arah pembebanan yang paling mudah menyebabkan struktur mengalami keruntuhan adalah arah pembebanan 0° baik kondisi awal struktur (tanpa ada korosi), kondisi korosi, maupun kondisi setelah dilakukan mitigasi. Maka, dapat dikatakan bahwa arah pembebanan 0° merupakan arah pembebanan yang paling kritis terhadap struktur. Berikut adalah perbandingan nilai kekuatan sisa (*reserve strength ratio*) pada arah pembebanan 0° :

Tabel 4.25 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi

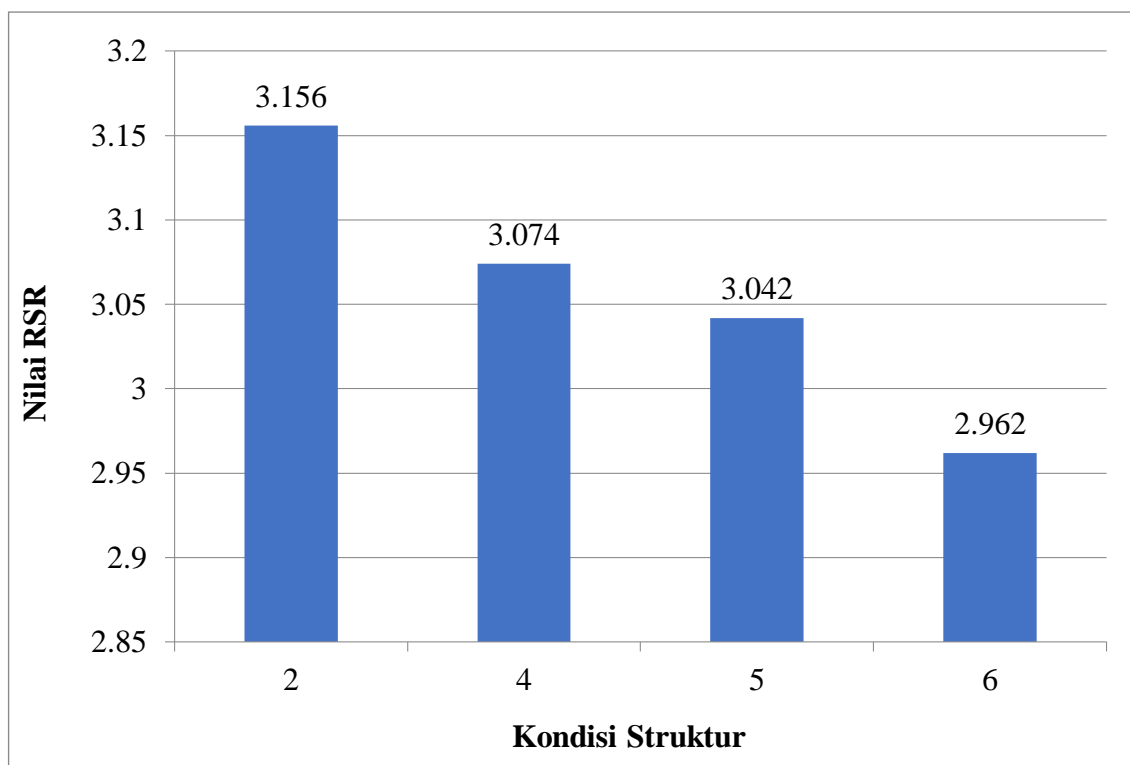
Kondisi	Keterangan	RSR	Kenaikan nilai RSR (%)
1	Kondisi Awal Struktur	3.349	-
2	Kondisi Inspeksi	3.156	-0.061
3	Kondisi mitigasi	3.315	0.047



Gambar 4.8 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi awal, inspeksi, dan mitigasi

Tabel 4.26 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi

Kondisi	Keterangan	RSR	Kenaikan nilai RSR (%)
2	Kondisi Inspeksi	3.156	-0.061
4	Kondisi 1 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	3.074	-0.078
5	Kondisi 2 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	3.042	-0.015
6	Kondisi 3 tahun setelah inspeksi tanpa dilakukan mitigasi	2.962	-0.027



Gambar 4.9 Hasil RSR dengan arah pembebanan 0° pada kondisi inspeksi dan 3 tahun setelahnya tanpa mitigasi

Dari hasil analisa di atas dapat dilihat pengaruh korosi terhadap kekuatan pada *AW platform*. Berikut adalah hasil analisa hasil kekuatan sisa pada 6 kondisi yang telah dimodelkan:

1. Dari analisa *pushover* dapat dilihat bahwa arah pembebanan 0° merupakan arah pembebanan yang paling kritis terhadap struktur, baik kondisi awal struktur (tanpa ada korosi), kondisi korosi, maupun kondisi setelah dilakukan mitigasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa arah pembebanan yang paling mudah menyebabkan struktur mengalami keruntuhan adalah arah pembebanan 0° dengan nilai RSR pada kondisi awal (tanpa korosi) sebesar 3.349, kondisi korosi saat dilakukan inspeksi sebesar 3.156, kemudian pada kondisi korosi 1 tahun setelah inspeksi sebesar 3,047, pada kondisi korosi 2 tahun setelah inspeksi adalah 3.042, dan pada kondisi 3 tahun setelah inspeksi adalah 2.962.
2. Kekuatan sisa (RSR) struktur saat dilakukan inspeksi mengalami kenaikan nilai RSR sebanyak -0,061% dari nilai RSR pada kondisi awal. Sedangkan, pada kondisi mitigasi umur kelelahan mengalami kenaikan sebanyak 0,047% dari kondisi inspeksi.
3. Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa setiap tahunnya struktur mengalami perubahan nilai RSR dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Pada 1 tahun setelah inspeksi terjadi kenaikan sebanyak -0,078%, pada tahun ke-2 setelah inspeksi diperoleh kenaikan nilai RSR sebesar 0,0105%, sedangkan pada tahun ke-3 setelah inspeksi terjadi kenaikan sebesar -0,027% dari tahun sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan perhitungan yang dilakukan pada Tugas Akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rasio kekuatan sisa yang dihasilkan oleh *pushover analysis* diperoleh bahwa Hasil rasio kekuatan sisa atau RSR pada arah pembebanan 0° merupakan arah pembebanan yang paling kritis terhadap struktur. Nilai RSR pada kondisi awal (tanpa korosi) sebesar 3.349, kondisi korosi saat dilakukan inspeksi sebesar 3.156, kemudian pada kondisi korosi 1 tahun setelah inspeksi sebesar 3,047, pada kondisi korosi 2 tahun setelah inspeksi adalah 3.042, dan pada kondisi 3 tahun setelah inspeksi adalah 2.962.
2. Dari hasil analisa *pushover* pada kondisi mitigasi diperoleh nilai RSR sebesar 3.315. Sedangkan, pada kondisi inspeksi nilai RSR yang diperoleh sebesar 3.156. Maka, dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan nilai RSR dari kondisi struktur saat inspeksi dan kondisi struktur setelah dilakukan mitigasi sebanyak 0.159.
3. Umur kelelahan struktur saat dilakukan inspeksi mengalami selisih umur kelelahan sebanyak 44,22% dari umur kelelahan pada kondisi awal. Sedangkan, pada kondisi mitigasi umur kelelahan mengalami kenaikan sebanyak 25,06%. Sedangkan, pada korosi terjadi 3 tahun setelah inspeksi dapat dilihat bahwasetiap tahunnya struktur mengalami selisih umur kelelahan dibandingkan dengan sebelumnya. Pada 1 tahun setelah inspeksi terjadi selisih sebanyak 42,26%, pada tahun ke-2 setelah inspeksi diperoleh selisih umur kelelahan sebesar 56,47%, sedangkan pada tahun ke-3 setelah inspeksi terjadi selisih sebesar 77,34%.

5.2. Saran

Berikut ini merupakan beberapa masukan atau saran untuk penelitian selanjutnya yang dapat digunakan sebagai penelitian Tugas Akhirs selanjutnya, antara lain:

1. Analisa keandalan perlu dilakukan untuk mengetahui indeks keandalan sambungan kritis terhadap umur kelelahan struktur yang diakibatkan oleh korosi.
2. Analisa tegangan dan kekuatan secara detail atau lokal dapat dilanjutkan pada *member-member* kritis pada struktur dengan menggunakan software seperti ANSYS.
3. Perlu dipertimbangkan pengaruh green water ketika air melimpas di atas deck.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibhakti, W. 2010. *Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai Tripod*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Aeran, Aish. 2017. *Life Extension Of Ageing Offshore Structures: A Framework For Remaining Life Estimation*. Trondheim.
- American Petroleum Institute. 2000. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms*. Washington D.C.
- Bai, Yong. 2016. Reassessment of the jacket structure due to uniform corrosion damage.
- Chakrabarti. 2005. Fatigue Analysis and Risk Based Inspection Planning for Life Extension of Fixed Offshore Platforms. *Proceedings of OMAE 2005: 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Halkidik.
- Chawla, S. 1993. *Material Selection for Corrosion Control* ASM International.
- Ersdal, G. 2005. *Assessment of Existing Offshore Structures for Life Extension*. Stavanger: University of Stavanger.
- Gucuyen, E. 2014. Corrosion Effects on Structural Behaviour of Jacket Type Offshore Structures.
- Hagemeijer, P. M. 1990. *Estimation of Drag/Inertia Parameters Using Time Domain Simulations*. Netherlands: Shell Exploratie en Produktie Laboratorium.
- Hartanto, Kusnu Budi, 2012, “Aplikasi Manajemen Resiko Pada Re-Engineering Analysis, Studi Kasus Perpanjangan Service Life Platform Lepas Pantai”, *Tesis Program Studi Manajemen Gas Teknik Kimia Universitas Indonesia*, Universitas Indonesia Depok
- ISO 19902. 2007. *International Standard (Petroleum and Natural Gas Industries - Fixed steel offshore structures)*. Switzerland.
- Joavina. 2017. *Stress state reassessment of Romanian offshore structures taking into account corrosion influence*. Rome: IOP Publishing.
- Nguyen, H. 2016. *Structural Corrosion Modeling for Strength Assessment of Fixed Offshore Platforms for Life Extension Study*. Austin: University Of Texas.

- Pradnyana, G. 2013. *Structural Integrity Assesment of Offshore Platforms in Relation to Platform Reusal and Requalification*. Bandung: Offshore Technology Research Group, Institut Teknologi Bandung.
- Ramadhana. 2008. *Perngaruh Korosi pada Baja Carbon Steel*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Robayasa, N. I. 2012. *Analisa Kekuatan Dampak Scouring pada Integritas Jacket Struktur dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan*. Surabaya: Iinstitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiawan, I. 2008. *Analisis Non-Linear Perkuatan Anjungan Lepas Pantai Dengan Metode Grouting Pada Joint Leg yang Korosi*. Jakarta.
- Setyadi, E. F. 2007. *Penilaian Struktur Lepas Pantai Eksisting Dengan Penekanan Terhadap Analisa Non-Linear dan Reliabilitas Struktur*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Shen, J. E. 2015. *Assessment of the damages occurring between two adjacent measurements for an aging offshore platform*. China: Elsevier.
- Solland, G. 2011. *Life Extension and Assessment of Existing Platform*. Society of Petroleum Engineers.
- Utomo, B. 2009. *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wang, Y. W. 2007. Current Status and Future Directions for Reliability Analys og Ship Structures Under Corrosion. *Journal of Ship Mechanics*, vol 13th, 307-320.
- Yu, W. 2009. *Corrosion Effects on the Ductile Fracture, Strength, and Reliability of Membranes; PhD Thesis*. Michigan: University of Michigan.
- Zachary, S. E. 1998. *Multivariate Extrapolation in the Offshore Environment*. England: Elsevier Science Ltd.

LAMPIRAN A
HASIL UNITY CHECK PADA STRUKTUR

Hasil Unity Check AW Platform pada kondisi awal

Location	Description	Group	Member	Properties	UC
Jacket	L e g Diagonal Bracing P l a n	L3T JD4 JW5	503-603 401-509 497-507	33.750" x 0.875" 13.750" x 0.250" 15.750" x 0.250"	0.40 0.92 0.70
Pile	Above Mud-line	P14	402-502	30.000" x 0.750"	0.58
Deck	B e a m L e g B r a c i n g	WC1 LCL BR3	5119-5005 5005-6005 6655-7112	WF. 33 x 130 30.000" x 0.750" 10.750" x 0.365"	0.89 0.67 0.46
Jacket	L e g Diagonal Bracing P l a n	L3T JD4 JD4 JD6 JW5	503-603 401-509 403-510 405-478 577-505	33.750" x 0.875" 13.750" x 0.250" 13.750" x 0.250" 13.750" x 0.250" 15.750" x 0.250"	0.57 1.364 1.204 1.050 1.009
Pile	Above Mud-line	P14	402-502	30.000" x 0.750"	0.79
Deck	B e a m L e g B r a c i n g	WC1 WC8 LCL BR3	5119-5005 5132-5128 5005-6005 6655-7112	WF. 33 x 130 WF. 8 x 18 30.000" x 0.750" 10.750" x 0.365"	1.195 1.119 0.88 0.59

LAMPIRAN B

HASIL PERHITUNGAN JOINT

Hasil Perhitungan Joint Punching Shear pada Kondisi Awal

Node Number	Diameter (inches)	Wall Thickness (inches)	Joint Punching Shear	Location
519	15.750"	0.250"	100.312	Walkway
477	12.500"	0.250"	100.139	Walkway
480	8.375"	0.197"	100.052	Walkway
109	18.000"	0.500"	1.362	Mud line
110	18.000"	0.500"	1.283	Mud line
155	18.000"	0.500"	1.138	Mud line
521	13.750"	0.250"	1.025	Walkway
519	15.750"	0.250"	100.464	Walkway
513	15.750"	0.250"	100.248	Walkway
477	12.500"	0.250"	100.211	Walkway
480	8.375"	0.197"	100.117	Walkway
485	12.500"	0.250"	100.103	Walkway
482	8.375"	0.197"	100.075	Walkway
109	18.000"	0.500"	2.128	Mud line
110	18.000"	0.500"	1.981	Mud line
155	18.000"	0.500"	1.895	Mud line
154	18.000"	0.500"	1.481	Mud line
521	13.750"	0.250"	1.369	Walkway
505	33.750"	0.875"	1.363	Walkway
528	13.750"	0.250"	1.221	Walkway

Hasil Perhitungan Joint Punching Shear pada Kondisi Awal (lanjutan)

Node Number	Diameter (inches)	Wall Thickness (inches)	Joint Punching Shear	Location
547	6.375"	0.155"	1.209	Walkway
509	15.750"	0.250"	1.207	Walkway
548	12.500"	0.250"	1.176	Walkway
550	6.375"	0.155"	1.158	Walkway
478	15.750"	0.250"	1.101	Walkway
510	15.750"	0.250"	1.098***	Walkway
527	13.750"	0.250"	1.074***	Walkway
529	12.500"	0.250"	1.060***	Walkway
507	33.750"	0.875"	1.020***	Walkway

LAMPIRAN C

FATIGUE INPUT

Fatigue Input pada Kondisi Awal

```

FTOPT      59.0   10.0   2.0  SMAP1  SK  MNSK                      2.0
LFEFT
FTOPT2      PT                      2
SCFLM      1.5
JSLOC 101 103 105 107 109 110 111 112 113 114 115 116 121 122 126 127 139 142
JSLOC 201 203 205 207 209 210 211 212 213 215 218 222 223
JSLOC 301 303 305 307 309 316 319 321 322 336 337
JSLOC 401 403 405 407 409 414 415 416 417 418 421 423 424 438 439 440 441 442
JSLOC 443 444 445 446 447 448 449
JSLOC 601 603 605 607 611 613 615 617
JSLOC 701 703 705 707 709 751
JSLOC 400040014002400340044005400640074014401540164017401840194020402140224023
JNTOVR 4000                      0.5
JNTOVR 4016                      0.5
JNTOVR 4001                      0.5
JNTOVR 4019                      0.5
JNTOVR 4002                      0.5
JNTOVR 4022                      0.5
JNTOVR 4003                      0.5
JNTOVR 403                      1.5
JNTOVR 407                      1.5
RELIEF
*****
* WAVE DIRECTION 0 DEG. (FROM SW-DIR)
*****
FTLOAD 1 779600. MMN
FTCOMB 1 2 3 4 5 6 7
FTCOMB 8
FTLOAD 2 30395. MMN
FTCOMB 9 10 11 12 13 14 15
FTCOMB 16
FTLOAD 3 5. MMN
FTCOMB 17 18 19 20 21 22 23
FTCOMB 24
FTLOAD 4 0. MMN
FTCOMB 25 26 27 28 29 30 31
FTCOMB 32
FTLOAD 5 0. MMN
FTCOMB 33 34 35 36 37 38 39
FTCOMB 40
FTLOAD 6 0. MMN
FTCOMB 41 42 43 44 45 46 47
FTCOMB 48
*****
* WAVE DIRECTION 45 DEG. (FROM S-DIR)
*****
FTLOAD 7 1494200. MMN
FTCOMB 49 50 51 52 53 54 55
FTCOMB 56
FTLOAD 8 57675. MMN
FTCOMB 57 58 59 60 61 62 63
FTCOMB 64
FTLOAD 9 625. MMN
FTCOMB 65 66 67 68 69 70 71
FTCOMB 72
FTLOAD 10 0. MMN
FTCOMB 73 74 75 76 77 78 79
FTCOMB 80
FTLOAD 11 0. MMN
FTCOMB 81 82 83 84 85 86 87
FTCOMB 88
FTLOAD 12 0. MMN
FTCOMB 89 90 91 92 93 94 95
FTCOMB 96

```

```

*****
* WAVE DIRECTION 90 DEG. (FROM SE-DIR)
*****
FTLOAD 13 4027800. MMN
FTCOMB 97 98 99 100 101 102 103
FTCOMB 104
FTLOAD 14 154150. MMN
FTCOMB 105 106 107 108 109 110 111
FTCOMB 112
FTLOAD 15 3050. MMN
FTCOMB 113 114 115 116 117 118 119
FTCOMB 120
FTLOAD 16 0. MMN
FTCOMB 121 122 123 124 125 126 127
FTCOMB 128
FTLOAD 17 0. MMN
FTCOMB 129 130 131 132 133 134 135
FTCOMB 136
FTLOAD 18 0. MMN
FTCOMB 137 138 139 140 141 142 143
FTCOMB 144

*****
* WAVE DIRECTION 135 DEG. (FROM E-DIR)
*****
FTLOAD 19 19489100. MMN
FTCOMB 145 146 147 148 149 150 151
FTCOMB 152
FTLOAD 20 731450. MMN
FTCOMB 153 154 155 156 157 158 159
FTCOMB 160
FTLOAD 21 26320. MMN
FTCOMB 161 162 163 164 165 166 167
FTCOMB 168
FTLOAD 22 1073. MMN
FTCOMB 169 170 171 172 173 174 175
FTCOMB 176
FTLOAD 23 36. MMN
FTCOMB 177 178 179 180 181 182 183
FTCOMB 184
FTLOAD 24 1. MMN
FTCOMB 185 186 187 188 189 190 191
FTCOMB 192

*****
* WAVE DIRECTION 180 DEG. (FROM NE-DIR)
*****
FTLOAD 25 13057700. MMN
FTCOMB 193 194 195 196 197 198 199
FTCOMB 200
FTLOAD 26 490075. MMN
FTCOMB 201 202 203 204 205 206 207
FTCOMB 208
FTLOAD 27 18980. MMN
FTCOMB 209 210 211 212 213 214 215
FTCOMB 216
FTLOAD 28 720. MMN
FTCOMB 217 218 219 220 221 222 223
FTCOMB 224
FTLOAD 29 24. MMN
FTCOMB 225 226 227 228 229 230 231
FTCOMB 232
FTLOAD 30 1. MMN
FTCOMB 233 234 235 236 237 238 239
FTCOMB 240

```

```

*****
* WAVE DIRECTION 225 DEG. (FROM N-DIR)
*****
FTLOAD 31 7990600. MMN
FTCOMB 241 242 243 244 245 246 247
FTCOMB 248
FTLOAD 32 300660. MMN
FTCOMB 249 250 251 252 253 254 255
FTCOMB 256
FTLOAD 33 10784. MMN
FTCOMB 257 258 259 260 261 262 263
FTCOMB 264
FTLOAD 34 440. MMN
FTCOMB 265 266 267 268 269 270 271
FTCOMB 272
FTLOAD 35 15. MMN
FTCOMB 273 274 275 276 277 278 279
FTCOMB 280
FTLOAD 36 1. MMN
FTCOMB 281 282 283 284 285 286 287
FTCOMB 288
*****
* WAVE DIRECTION 270 DEG. (FROM NW-DIR)
*****
FTLOAD 37 9419800. MMN
FTCOMB 289 290 291 292 293 294 295
FTCOMB 296
FTLOAD 38 353475. MMN
FTCOMB 297 298 299 300 301 302 303
FTCOMB 304
FTLOAD 39 13687. MMN
FTCOMB 305 306 307 308 309 310 311
FTCOMB 312
FTLOAD 40 521. MMN
FTCOMB 313 314 315 316 317 318 319
FTCOMB 320
FTLOAD 41 16. MMN
FTCOMB 321 322 323 324 325 326 327
FTCOMB 328
FTLOAD 42 1. MMN
FTCOMB 329 330 331 332 333 334 335
FTCOMB 336
*****
* WAVE DIRECTION 315 DEG. (FROM W-DIR)
*****
FTLOAD 43 8705200. MMN
FTCOMB 337 338 339 340 341 342 343
FTCOMB 344
FTLOAD 44 327550. MMN
FTCOMB 345 346 347 348 349 350 351
FTCOMB 352
FTLOAD 45 11809. MMN
FTCOMB 353 354 355 356 357 358 359
FTCOMB 360
FTLOAD 46 429. MMN
FTCOMB 361 362 363 364 365 366 367
FTCOMB 368
FTLOAD 47 12. MMN
FTCOMB 369 370 371 372 373 374 375
FTCOMB 376
FTLOAD 48 0. MMN
FTCOMB 377 378 379 380 381 382 383
FTCOMB 384
END

```

LAMPIRAN D

FATIGUE OUTPUT

Hasil dari Analisa Kelelahan (*Fatigue*)

Joint	Member	Properties	Joint Type	Member Type	Svc. Life (Years)	Location
407	417-407	J41	TK	Brace	1.65	El. (-) 30' – 0"
	407-453	L74	TK	Chord	3.37	
	421-407	J41	TK	Brace	2.22	
	407-453	L74	TK	Chord	4.25	
	305-407	JD3	TK	Brace	19.35	
	307-407	L73	TK	Chord	27.35	
485	488-485	JW8	Y	Brace	19.56	Walkway
	511-485	JW7	Y	Chord	3.32	
405	405-409	J41	K	Brace	4.36	El. (-) 30' – 0"
	405-454	L54	K	Chord	8.65	
	413-405	J41	K	Brace	4.39	
	405-454	L54	K	Chord	9.09	
117	117-125	J11	K	Chord	9.26	Mudline
	117-125	J11	K	Chord	33.65	
	111-117	J11	K	Chord	5.22	
519	518-519	JW5	T	Chord	8.41	Walkway
118	118-111	J11	K	Chord	9.89	Mudline
409	409-418	J41	K	Brace	47.71	El. (-) 30' – 0"
	409-420	J41	K	Chord	12.60	
401	401-410	J41	TK	Brace	17.15	El. (-) 30' – 0"
	301-401	L13	TK	Chord	34.55	
	401-303	JD3	TK	Brace	21.45	
	301-401	L13	TK	Chord	27.48	
	401-351	JD3	TK	Brace	22.22	
	301-401	L13	TK	Chord	32.98	
154	154-136	J12	K	Chord	19.50	Mudline
	135-154	J12	K	Chord	17.79	
522	521-522	JW6	T	Chord	21.01	Walkway
403	401-403	J41	K	Brace	22.04	El. (-) 30' – 0"
	403-452	L34	K	Chord	41.67	
	403-414	J41	K	Brace	26.08	
	303-403	L33	K	Chord	52.28	
	419-403	J41	T	Brace	24.31	
	403-452	L34	T	Chord	51.09	

Joint	Member	Properties	Joint Type	Member Type	Svc. Life (Years)	Location
155	155-123 122-155	J12 J12	K K	Chord Chord	26.13 31.31	Mudline
513	512-513	JW5	T	Chord	30.39	Walkway
407	417-407 407-453 421-407 407-453 305-407 307-407	J41 L74 J41 L74 JD3 L73	TK TK TK TK TK TK	Brace Chord Brace Chord Brace Chord	1.65 3.37 2.22 4.25 19.35 27.35	El. (-) 30' – 0"
485	488-485 511-485	JW8 JW7	Y Y	Brace Chord	19.56 3.32	Walkway
405	405-409 405-454 413-405 405-454	J41 L54 J41 L54	K K K K	Brace Chord Brace Chord	4.36 8.65 4.39 9.09	El. (-) 30' – 0"
117	117-125 117-125 111-117	J11 J11 J11	K K K	Chord Chord Chord	9.26 33.65 5.22	Mudline
519	518-519	JW5	T	Chord	8.41	Walkway
118	118-111	J11	K	Chord	9.89	Mudline
409	409-418 409-420	J41 J41	K K	Brace Chord	47.71 12.60	El. (-) 30' – 0"
401	401-410 301-401 401-303 301-401 401-351 301-401	J41 L13 JD3 L13 JD3 L13	TK TK TK TK TK TK	Brace Chord Brace Chord Brace Chord	17.15 34.55 21.45 27.48 22.22 32.98	El. (-) 30' – 0"
154	154-136 135-154	J12 J12	K K	Chord Chord	19.50 17.79	Mudline
403	401-403 403-452 403-414 303-403 419-403 403-452	J41 L34 J41 L33 J41 L34	K K K K T T	Brace Chord Brace Chord Brace Chord	22.04 41.67 26.08 52.28 24.31 51.09	El. (-) 30' – 0"
155	155-123 122-155	J12 J12	K K	Chord Chord	26.13 31.31	Mudline
513	512-513	JW5	T	Chord	30.39	Walkway

LAMPIRAN E

COLLAPSE INPUT

- Collapse Input arah pembebanan 0°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFFPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W11 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML SMD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 45°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFFPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W12 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML SMD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 90°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFFPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W13 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML SMD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 135°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFFPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W14 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML SMD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 180°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT PIRIMIMP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W15 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 225°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT PIRIMIMP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W16 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Collapse Input arah pembebanan 270°

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJ5      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT PIRIMIMP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W17 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FL1 FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

LAMPIRAN F

COLLAPSE OUTPUT

**** NON-LINEAR COLLAPSE ANALYSIS (LOAD SEQUENCE 1) ****

NSLV	INC.	LOOP	LOAD		*DEFLECTION*			ROTATION DIFFERENCE	** DEFLECTION **		% OF IMPACT ENERGY
			CASE	FACTOR	DIFF.	JNT	DOF		MAXIMUM	JNT DOF	
2	1	1	1001	1.000	0.0330	7504	DY	0.0002892	-2.725	7504 DY	
4	2	1	2001	1.000	0.1339	7504	DY	0.0003601	-11.874	7504 DY	
5	2	2	2001	1.000	0.0082	351	DX	0.0000229	-11.877	7504 DY	
7	3	1	2001	5.000	13.9786	5045	DY	0.0194332	-62.516	7239 DY	
8	3	2	2001	5.000	5.9968	113	DZ	0.0305102	-64.335	7239 DY	
9	3	3	2001	5.000	26.6276	9432	DY	0.0458511	-89.191	7239 DY	
10	3	4	2001	5.000	22.0975	7239	DY	0.0308184	-92.031	7239 DY	
11	3	5	2001	5.000	24.0864	9432	DY	0.0273171	-95.053	7239 DY	
12	3	6	2001	5.000	28.8716	351	DX	0.0654437	-108.762	7239 DY	
13	3	7	2001	5.000	102.2495	351	DX	0.2535545	-113.132	5002 DY	
14	3	8	2001	5.000	227.2465	351	DX	0.6827183	210.947	351 DX	
15	4	9	2001	5.000	748.2679	351	DX	2.7949415	-662.318	351 DX	
16	4	2	2001	5.000	5.9968	113	DZ	0.0305102	-64.335	7239 DY	
17	4	3	2001	5.000	26.6276	9432	DY	0.0458511	-89.191	7239 DY	
18	4	4	2001	5.000	22.0975	7239	DY	0.0308184	-92.031	7239 DY	
19	4	5	2001	5.000	24.0864	9432	DY	0.0273171	-95.053	7239 DY	
20	5	6	2001	5.000	28.8716	351	DX	0.0654437	-108.762	7239 DY	
21	5	7	2001	5.000	102.2495	351	DX	0.2535545	-113.132	5002 DY	
22	6	8	2001	5.000	227.2465	351	DX	0.6827183	210.947	351 DX	
23	6	9	2001	5.000	748.2679	351	DX	2.7949415	-662.318	351 DX	
24	6	1	2001	5.000	13.9786	5045	DY	0.0194332	-62.516	7239 DY	
25	6	2	2001	5.000	5.9968	113	DZ	0.0305102	-64.335	7239 DY	
26	7	3	2001	5.000	26.6276	9432	DY	0.0458511	-89.191	7239 DY	
27	7	4	2001	5.000	22.0975	7239	DY	0.0308184	-92.031	7239 DY	
28	7	5	2001	5.000	24.0864	9432	DY	0.0273171	-95.053	7239 DY	
29	7	6	2001	5.000	28.8716	351	DX	0.0654437	-108.762	7239 DY	
30	7	7	2001	5.000	102.2495	351	DX	0.2535545	-113.132	5002 DY	
31	7	8	2001	5.000	227.2465	351	DX	0.6827183	210.947	351 DX	
32	7	9	2001	5.000	748.2679	351	DX	2.7949415	-662.318	351 DX	
33	7	2	2001	5.000	5.9968	113	DZ	0.0305102	-64.335	7239 DY	
34	7	3	2001	5.000	26.6276	9432	DY	0.0458511	-89.191	7239 DY	
35	7	4	2001	5.000	22.0975	7239	DY	0.0308184	-92.031	7239 DY	
36	7	5	2001	5.000	24.0864	9432	DY	0.0273171	-95.053	7239 DY	
37	8	6	2001	5.000	28.8716	351	DX	0.0654437	-108.762	7239 DY	
38	8	7	2001	5.000	102.2495	351	DX	0.2535545	-113.132	5002 DY	
39	9	8	2001	5.000	227.2465	351	DX	0.6827183	210.947	351 DX	

BIODATA PENULIS



Made Ayu Delvina Deviany, lahir di kota Surabaya, 28 Juni 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Kalam Kudus Surabaya, SMP Santa Maria Surabaya, dan SMA Santa Maria Surabaya. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan Strata 1 di Departemen Teknik Kelautan melalui jalur Mandiri dan terdaftar dengan NRP. 04311440000140. Penulis sempat menjalani Kerja Praktek di PT. Pertamina Shipping Jakarta selama 2 bulan. Penulis aktif dalam kegiatan ORMAWA, Tim Pembina Kerohanian Hindu dan pelatihan diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Buku Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Kekuatan Sisa pada Bangunan Lepas Pantai Terpancang yang Terkorosi” telah diselesaikan penulis dalam 1 semester sebagai syarat akhir kelulusan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Departemen Teknik Kelautan.